

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24>

ОЦЕНКА ЗАПАСА УГЛЕРОДА В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ И ВЕРХНЕМ СЛОЕ ПОЧВ НАСАЖДЕНИЙ
ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

Научная статья

Байтурина Р.Р.^{1,*}, Султанова Р.Р.², Асылбаев И.Г.³

¹ ORCID : 0000-0002-8156-2165;

² ORCID : 0000-0002-0415-7342;

³ ORCID : 0000-0002-8235-2928;

^{1,2,3} Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (aspirant_bsau[at]mail.ru)

Аннотация

На сегодняшний день мониторинг лесных экосистем по абсорбированию парниковых газов и обоснование мероприятий по увеличению этой способности является актуальным на карбоновых полигонах. В проведенных исследованиях показана оценка запаса углерода в верхнем слое почвы на основе полевых и лабораторных исследований на участке карбонового полигона Дмитриевского участкового лесничества. Определены запасы углерода по типам почв лесного участка (высокое содержание в черноземе оподзоленном – 11,31 кг С/м², наименьшее – в светло-серых лесных почвах 5,26 кг С/м²). Выявлен запас углерода в подстилке в среднем 25,7±16,1 тонн С на 204 га. В липняках и березовом лесу обнаружено соответственно по 6,69 и 6,2 т/га запаса углерода, в хвойном (лиственница) – 7,3 т/га. Низкие показатели – под осиновым лесом (5,3 т/га) и в насаждениях с преобладанием ясеня (3,78 т/га).

Ключевые слова: карбоновый полигон, почвы, оценка запасов органического углерода, содержание гумуса, лесная подстилка, лесообразующие породы.

AN EVALUATION OF CARBON STOCK IN FOREST FLOOR AND TOPSOIL OF PLANTATIONS OF MAIN
FOREST FORMING SPECIES

Research article

Baiturina R.R.^{1,*}, Sultanova R.R.², Asylbaev I.G.³

¹ ORCID : 0000-0002-8156-2165;

² ORCID : 0000-0002-0415-7342;

³ ORCID : 0000-0002-8235-2928;

^{1,2,3} Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

* Corresponding author (aspirant_bsau[at]mail.ru)

Abstract

Nowadays, monitoring of forest ecosystems on absorption of greenhouse gases and justification of measures to increase this ability is relevant on carbon polygons. The research shows the evaluation of carbon stock in the top layer of soil on the basis of field and laboratory studies at the carbon polygon site of Dmitrievsky district forestry. Carbon stocks by types of soils of the forest plot were determined (high content in podzolized black soil – 11.31 kg C/m², the lowest – in light grey forest soils 5.26 kg C/m²). The carbon stock in litter was found to be 25.7±16.1 tonnes C per 204 ha on average. In lime and birch forests 6.69 and 6.2 tonnes/ha of carbon stock were found, respectively, and in coniferous (larch) – 7.3 tonnes/ha. Low indicators are under aspen forest (5.3 t/ha) and in ash-dominated stands (3.78 t/ha).

Keywords: carbon polygon, soils, organic carbon stock assessment, humus content, forest floor, forest forming species.

Введение

Лесные экосистемы, включающие почву, являются одним из главных элементов глобального углеродного цикла, абсорбирующих органический углерод. Невозможно недооценить существенную роль углерода в балансе глобального биогеохимического цикла и парниковых газов, который обуславливается стабильностью почвенного покрова. Как отмечают ряд исследователей [7] одним из методов в решении вопросов углеродной компенсации и углеродной экономики становятся организуемые в российских регионах углеродные полигоны [3]. По оценкам исследователей на почвы лесных экосистем приходится около 46% общих запасов углерода в почвенном покрове России. При этом вклад лесных земель на азиатской и европейской частей страны различен и составляет 48 и 37%, соответственно, что отражает уровень лесистости этих регионов [6]. Противоположная картина характерна для сельскохозяйственных угодий, на почвы которых приходится 20 % запасов органического углерода в европейской части России и всего 2% в азиатской.

Целью работы было оценить запасы органического углерода в лесных почвах с выделением типа почвы, вносящего наибольший вклад в депонирование углерода лесного участка карбонового полигона Республики Башкортостан с учетом преобладающих древесных пород. Решались поставленные задачи: проведение лабораторных исследований отобранных почвенных образцов и лесной подстилки исследуемого участка, а также оценка пространственного распределения органического углерода.

Методы и принципы исследования

Объектом исследования стали почвы карбонового полигона лесного участка, расположенного в Лесостепном районе Европейской части Российской Федерации Лесостепной лесорастительной зоны площадью 90 га (кварталы 19, 20 Уфимского лесничества Дмитриевского участкового лесничества, выделенных в категорию «зеленая зона» вокруг промышленного центра – г. Уфа) однородные по климатическим, эдафическим, фитоценотическим условиям, рельефу и гидрологии. Преобладают насаждения с доминированием в составе *Tilia cordata* Mill.

Для предварительного почвенного обследования и оценки пространственного анализа распределения типов почв использованы материалы лесоустройства 1990 года «Объяснительная записка к почвенно-типологической карте Учебно-опытного лесхоза БСХИ», проведенные Башкирской экспедицией «Леспроект». Полевые измерения выполнены на основе закладки полнопрофильных разрезов в 2023 г. для определения типов почв и уточнения данных, приведенных в материалах лесоустройства.

Проведены лабораторные анализы почвенных образцов, полученных из разных глубин и зон исследования. Определено содержание органического углерода в почве, плотность почвы, структура, гранулометрический состав и другие характеристики, которые позволили оценить углеродный запас почвы. Анализ проводился по требованиям ГОСТ согласно договора в почвенно-химической лаборатории ФГУ «Российский центр защиты леса» – «ЦЗЛ Республики Башкортостан» (СВИДЕТЕЛЬСТВО об оценке состояния измерений в лаборатории № ЦСМ РБ.ОСИ.АЛ.03394 от 14 января 2021 г., действительно до 14 января 2024 г.)

Согласно утвержденным методикам количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов [1], [2] содержание углерода в органическом веществе почв принимается равным 58%.

Пересчет на запас углерода почвы производится с учетом объемной массы почвы (г см^{-3}) по формуле:

$$C_{\text{почва}} = \text{Org}\% * \text{H} * \text{Об.масса} * 58 / 100,$$

где $C_{\text{почва}}$ – запас углерода в пуле почвы, тонн С га^{-1} ;

Org% – содержание органического вещества в смешанном почвенном образце, %;

H – глубина отбора проб почвы (например, 20 – при отборе до 20 см и 30 – при отборе до 30 см и так далее), см;

Об. масса - объемная масса почвы, г см^{-3} ;

58 / 100 – коэффициент для перевода в единицы углерода.

Расчет запаса углерода в подстилке насаждений преобладающих пород в пределах объекта проводилось по формуле:

$$CL_{ij} = S_{ij} * KL_{ij}$$

где, CL_{ij} – запас углерода в подстилке насаждений группы возраста i преобладающей породы j , тонн С;

S_{ij} – площадь насаждений группы возраста i преобладающей породы j , га;

KL_{ij} – средний запас углерода в подстилке насаждений группы возраста i преобладающей породы j , тонн С га^{-1}

Оценка показателей пространственного распределения углерода в почве осуществлялась с использованием методики, которая базируется на верифицированных данных о структурном составе почвы насаждений.

Расчет общего запаса углерода на лесном участке проведен по формуле:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{pool}} * A$$

где C_{total} – валовые запасы углерода в почвенном контуре, т; C_{pool} – запасы углерода в слое 0-20 см почвы, т/га; A – площадь почвенного контура, га [4].

Подобные расчеты по определению запасов органического углерода в почвах островов Казанского района переменного подпора Куйбышевского водохранилища в слое 0-20 см проводились авторами Кулагиной В.И., Рязановым С.С., Шагидуллиным Р.Р., Александровой А.Б. [4].

Основные результаты

Согласно полученным результатам степень обеспеченности гумусом в лесной почве по горизонтам – низкая, средняя, повышенная и высокая: наибольшее содержание в верхнем горизонте – 9,8 %; наименьшее – 1,2 %. Обеспеченность подвижным калием выше, чем фосфором. Подвижные формы фосфора находятся в пределах от 38 до 82 мг на кг почвы. Обменные формы калия – от 78 до 113 мг на кг почвы. Реакция почвенного раствора, определенная в солевой вытяжке (рН KCl), в верхнем гумусовом горизонте близкая к нейтральной рН 5,8-5,9. Гидролитическая кислотность и содержание поглощенных оснований варьирует в пределах от 89,7-92,5%, в верхней части наименьшая 89,7%.

Содержание запасов органического углерода Сорг. в перегнойно-аккумулятивных горизонтах исследуемых почв подвержено значительным колебаниям как по генетическим горизонтам, так и в пределах каждого типа. Оно находится в тесной зависимости не только от состава растительных остатков, но и от почвообразующих пород, механического состава почв и реакции почвенной среды (табл. 1).

Таблица 1 - Запасы углерода по горизонтам почв на исследуемом участке Дмитриевского участкового лесничества (кв.19,20)

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.1>

Почвы	Горизонты	Гумус, %	Содержание органического углерода, %	Запасы углерода, т/га	Запас углерода, кг $\text{С}/\text{м}^2$	V, %	σ , кг $\text{С}/\text{м}^2$	m, кг $\text{С}/\text{м}^2$

чернозем оподзоленный	A	9,8	5,68	102,43	10,24	1,41	0,42	0,30
	AB	3,5	2,03	112,37	11,24	1,41	0,21	0,15
	B	1,7	0,99	92,53	9,25	1,30	3,93	3,02
темно-серая лесная	A ₁	8,8	5,10	163,85	16,39	1,37	0,31	0,22
	AB	4,0	2,32	163,34	16,33	1,32	0,32	0,24
	B	2,1	1,22	168,10	16,81	1,32	0,26	0,20
серая лесная	A ₁	6,1	3,54	122,07	12,21	1,41	0,14	0,10
	A ₂ B	2,2	1,28	68,60	6,86	1,41	0,07	0,05
	B	1,7	0,99	75,39	7,54	1,41	0,07	0,05
светло-серая лесная	A ₁	3,6	2,09	61,08	6,11	1,41	0,07	0,05
	A ₂ B	1,7	0,99	72,06	4,22	1,37	0,15	0,11
	B	0,9	0,52	51,29	3,21	1,37	0,15	0,11

Существенный вклад в общие запасы органического углерода вносят темно-серые лесные почвы и черноземы (более 80% углерода от общего запаса), а серо-лесные – в пределах 4-6% ($R^2=0,72$, рис. 1).

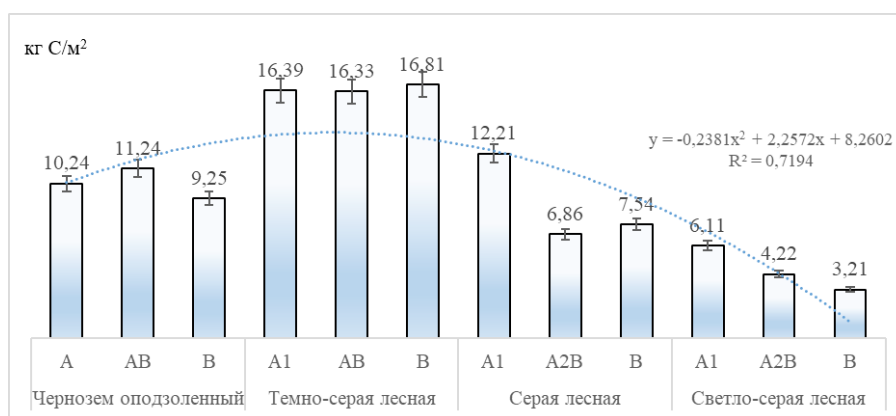


Рисунок 1 - Распределение органического углерода по горизонтам и типам почв
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.2>

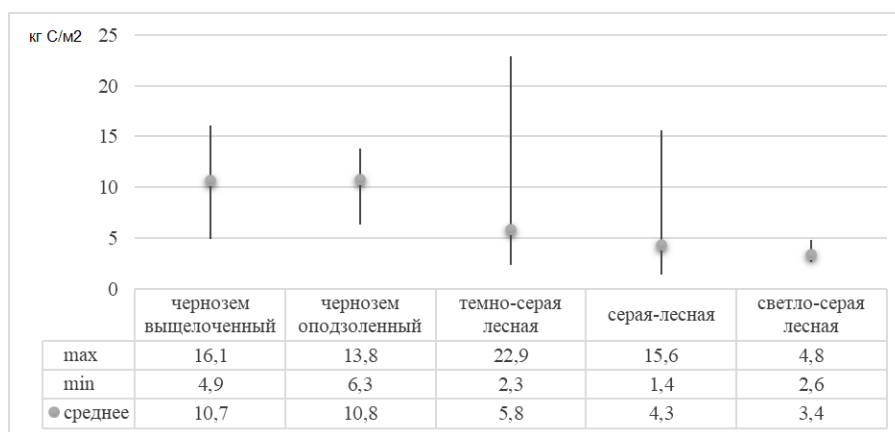


Рисунок 2 - Содержание запасов углерода по типам почв в гумусовом горизонте Дмитриевского участкового лесничества
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.3>

Примечание: источник [1]

В результате проведенных расчетов по методике Минприроды РФ [1] установлено отличие в разы разных типов почв в верхнем слое по содержанию *Сорг.* на лесном участке. Самые большие запасы органического углерода в

верхнем слое наблюдается в профиле чернозема оподзоленного – 12,05 кг С/м². Самое низкое содержание органического углерода отмечено в светло-серых лесных почвах – 4,89 кг С/м² (табл. 2).

Таблица 2 - Оценка запаса углерода в верхнем 20-тисантиметровом слое почв

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.4>

Почва	Гумус, %	Содержание органического углерода, %	Объёмная масса, г/см ³	Запасы углерода, т/га	Запас углерода, кг С/м ²	V,%	σ, кг С/м ²	m, кг С/м ²
Чернозем оподзоленный	9,8	5,68	1,06	120,51	12,05	1,41	0,42	0,30
Темно-серая лесная	8,8	5,10	1,07	109,23	10,92	1,37	0,31	0,22

Серая лесная	6,1	3,54	1,15	81,38	8,14	1,41	0,14	0,10
Светло-серая лесная	3,6	2,09	1,17	48,86	4,89	1,37	0,15	0,11

Примечание: [1]

В таблице представлены средние суммарные значения запасов углерода в слое 0-20 см. Выявлена прямая корреляционная зависимость между содержанием органического углерода и запасом углерода ($r = 1,0$), при этом отсутствует связь с мощностью горизонта ($r = -0,02$).

Средний показатель валового запаса углерода в 20 см слое почвы, рассчитанный по методике, приведенной В.И. Кулагиной и др. (2021), составил 90,38 т/га, на всей площади исследуемого лесного участка (90 га) – 8099,7 т. Относительно наибольшее содержание органического углерода по горизонтам отмечено в темно-серых лесных почвах и черноземах.

Проведено распределение основных лесобразующих пород по площади лесного участка Дмитриевского лесничества в зависимости от типовой принадлежности почв (табл. 3).

Таблица 3 - Распределение лесопокрытой площади карбонового полигона по преобладающим породам и типу почвы (кв.19,20)

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.5>

Типы почв	Преобладающие породы				
	<i>Tilia cordata</i> Mill	<i>Populus tremula</i>	<i>Bétula péndula</i>	<i>Larix archangelica</i> Laws	<i>Fraxinus excelsior</i>
чернозем	0,3	-	1,3	0,9	-
темно-серая лесная	110,4	11,9	6,4	0,3	-
серая лесная	39,2	10,1	15,9	-	0,7
светло-серая лесная	0,6	-	1,3	1,2	-
Всего	150,5	22	24,9	2,7	0,7

На черноземах изучаемого участка преобладают береза, лиственница и липа. На темно-серых лесных почвах наблюдается обогащение породного состава древостоя осиной при полном доминировании липы. На серых лесных почвах отсутствует лиственница, но присутствует ясень. В составе древостоя доминируют лиственница и береза на светло-серых лесных почвах.

Лесная подстилка способствует повышенному содержанию гумуса (от 0,81 до 4,72%) во всех образцах почвы, отобранных с разной глубины по сравнению с экспериментальным участком без подстилки (от 0,75 до 4,06% гумуса), а также увеличению калия и фосфора в верхнем 10-сантиметровом слое почвы. Выявлено, что лесная подстилка способствует увеличению содержания органического углерода в почве, что является важным фактором для поддержания углеродного баланса. Анализ наличия азота в лесном опаде показал, что леса из *Tilia cordata* Mill содержат 2,04, *Betula pendula* L. – 1,43% азота на 100 г сухого вещества лесного опада. Самое высокое содержание углерода наблюдалось в профиле чернозема – 102,43 т/га и темно-серых лесных почв – 163,85 т/га. Запасы углерода в профиле остальных почв меньше. Общий запас органического углерода в слое 0-20 см исследованного участка составил 8099,7 т. Расчет запаса углерода в подстилке составил в среднем 25,69 тонн С на 204 га, с учетом среднего запаса углерода в подстилке насаждений в средневозрастных, приспевающих и более старших группах возраста преобладающих древесных пород *Tilia*, *Betula* и *Populus tremula* (тонн С га⁻¹). В лесах из *Tilia cordata* Mill (кв.20, выд.2) и *Betula pendula* L. (кв.19, выд. 25) обнаружено соответственно по 6,69 и 6,2 т/га запаса углерода, в хвойном (*Larix archangelica* Laws, кв. 20 выд. 4) – 7,3 т/га. Низкие показатели – под лесом с преобладанием *Populus tremula* (5,3 т/га) и в насаждениях с преобладанием *Fraxinus excelsior* (3,78 т/га, кв.20, выд. 10).

На основе пространственного анализа распределения типов почв, данных полевых измерений выполнена экстраполяция величин запасов углерода в почве (кг С/м²) на лесном участке. Экстраполяция величин запасов углерода в почве (кг С/м²) основаны на результате пространственного анализа, который включает в себя данные полевых измерений. Полученная шкала используется для визуализации различных уровней запасов углерода в почве, позволяя быстро определить места с высокими и низкими значениями, получить пространственное представление о распределении и лучше понять процессы, которые влияют на накопление его в почве.

Почвенный покров Дмитриевского лесничества характеризуется большим разнообразием. Основной почвенный фон территории лесничества представлен серыми лесными и темно-серыми лесными почвами (78% от лесопокрытой

площади). Содержание запасов органического углерода $C_{орг}$ в перегнойно-аккумулятивных горизонтах исследуемых почв подвержено значительным колебаниям как по генетическим горизонтам, так и в пределах каждого типа.

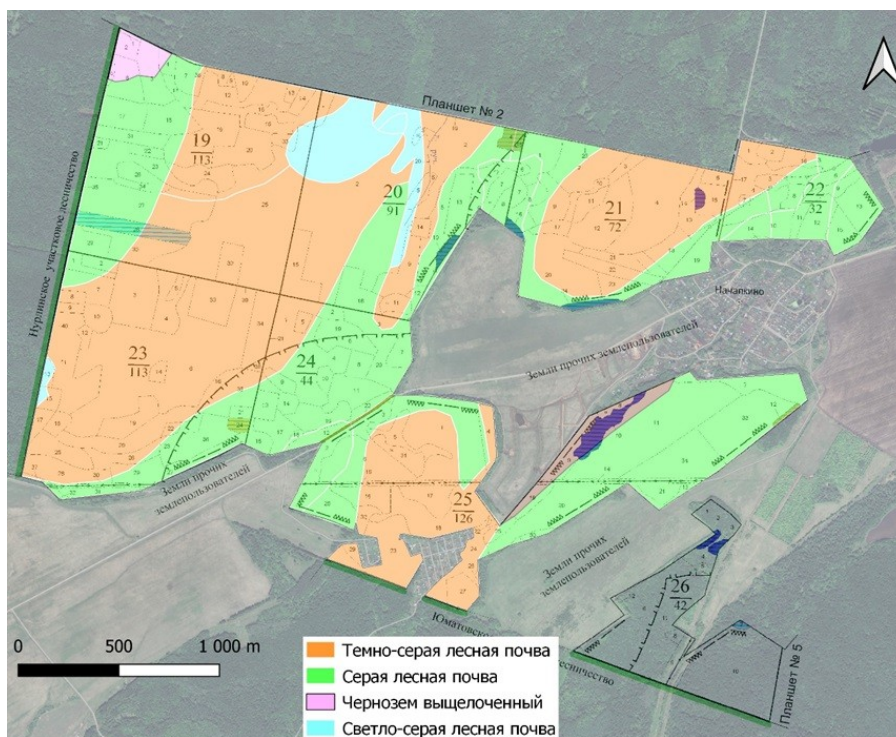


Рисунок 3 - Почвенная карта лесного участка (19, 20 кв.) карбонового полигона и прилегающих к нему лесных кварталов Дмитриевского участкового лесничества (21-25)
DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.6>

Таблица 4 - Запас углерода по типу почвы

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.24.7>

Тип почвы	Диапазон запаса углерода по типу почвы, кг С/м ²	Средний показатель запаса углерода по типу почвы, кг С/м ²
чернозем выщелоченный	4,9-16,1	10,7±0,5
чернозем оподзоленный	6,3-13,8	10,8±0,4
темно-серая лесная	2,3-22,9	5,8±0,2
серая-лесная	1,4-15,6	4,3±0,2
светло-серая лесная	2,6-4,8	3,4±0,1

Обсуждение

По данным исследований в липовых лесах Центральной Европы запасы углерода почвы в минеральном слое 0-20 см составили 52 т/га в буковых лесах и 45 т/га [13], в то время как в 0-50 см слое почвы грабово-дубовых лесов достигал 77 т/га [10], а в пихтовых лесах западного Причерноморья – 155 т/га [14]. В лесах common garden запасы углерода в слое 0-30 см варьировали от 61 т/га в еловых и березовых культурах до 64-67 т/га в кленовых и липовых и 69-71 т/га в дубовых и ясеневых лесах [17]. Таким образом, показано, что лесные почвы умеренного пояса характеризуются значительным запасом углерода до 100 Мг С/га или более. Однако вариабельность весьма высока как для органогенных, так и для минеральных горизонтов почв. Скорость связывания углерода в почве в этих лесах зависит от типа почвы, предшествующего запаса углерода, видового состава растительности и других природных и антропогенных факторов [12]. Аргументом в пользу того, что леса уменьшают концентрацию CO₂ в атмосфере, является то, что живые деревья поглощают CO₂ из атмосферы, формируя в ходе фотосинтеза органические соединения

и выделяя кислород в атмосферу. Леса сохраняют углерод в растительности и почвах на длительное время, что обуславливает их преимущество по сравнению с агроценозами, где происходит быстрый возврат углерода в биологические циклы [15]. Климаторегулирующая роль лесов не ограничивается депонированием углерода в древесине. Общие запасы углерода в почве (включая подстилку) составляют примерно 70% запасов углерода экосистемы в бореальных лесах, примерно 60% в лесах умеренного пояса и примерно 30% в тропических лесах соответственно (Pan et al., 2011). В старовозрастных лесах это значение доходит до 90% [11]. Суммарно для России запасы углерода почв в слоях 0-30 см, 0-50 см и 0-100 см оценены в 128.4×109 т, 166.5×109 т и 215.8×109 т. Для слоя 0-100 см средние запасы – 162 ± 23 т С га⁻¹ [5]. Средние запасы углерода в подстилке закономерно увеличиваются с юга на север до зоны северной тайги включительно. Более высокие запасы подстилки в травянистых и кустарниковых экосистемах средней, северной тайги и лесотундры по сравнению с лесными экосистемами обусловлены тем, что надземная фитомасса трав практически полностью переходит в состав подстилки в течение года, а продукция травянистой растительности в этих зонах по литературным данным может составлять до 0,73 кг/м² в год, что почти в два раза превышает продукцию зеленой фитомассы в лесных экосистемах (от 0,17 до 0,31 кг/м²). Качество опада как хвойных, так и лиственных деревьев может меняться в зависимости от климатических условий. При исследовании скорости разложения опада с учетом климатических характеристик установлено, что химический состав корней является основным регулятором процессов разложения, в то время как климатические и экологические факторы имели второстепенное значение [16]. Выявлено, что качество опада может быть более значимым предиктором разложения подстилки по сравнению с гидротермическими характеристиками [8], [9], особенно на начальных этапах ее разложения.

Заключение

Оценка показателей пространственного распределения углерода в почве, верифицированных с помощью структурного состава почвы насаждений, является важным процессом для оценки углеродного запаса почвы в лесных экосистемах. В основе оценки показателей пространственного распределения углерода лежит исследование структурного состава почвы насаждений путем проведения инвентаризации на местности. Это включает в себя изучение вертикального и горизонтального распределения различных компонентов почвы, таких как органическая материя, минеральные фракции и прочие вещества, способствующие увеличению углеродного запаса.

Отметим, что несмотря на возрастающий поток литературы о влиянии типов леса, практики хозяйственной деятельности и других мнений по органическому углероду почвы, имеющиеся данные касаются конкретных мест и исследований, при этом по большей части влияние все же оказывают климатические условия, свойства почвы, рассматриваемый масштаб времени, глубина почвы и интенсивность отбора проб. Исследования в лесах должны охватывать разные типы леса, виды хозяйственной деятельности (рубки) и другие факторы влияния (климатическая или лесорастительная зона). Полученный результат проведенных исследований имеет важное значение для оценки запасов органического углерода на региональном уровне и позволяют вносить научные знания в уже имеющиеся для широких обобщений.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «ПРИОРИТЕТ 2030» (Национальный проект «Наука и университет»).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The research was carried out within the framework of the program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation "PRIORITY 2030" (National project "Science and University").

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Российская Федерация. Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 "Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов" (Зарегистрирован 29.07.2022 № 69451) : Конституция № 371: [2022-05-27 :2023-11-27]. 2022.
2. Российская Федерация. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов Утверждены распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 №20-р : Конституция [2017-06-30 :2023-11-27]. 2017.
3. Кудеяров В.Н. Почвенные источники углекислого газа на территории России / В.Н. Кудеяров // Круговорот углерода на территории России. — 1999. — 1. — с. 165-201.
4. Кулагина В.И. Оценка запасов органического углерода в почвенном покрове островных экосистем Куйбышевского водохранилища / В.И. Кулагина, С.С. Рязанова, Р.Р. Шагидуллин, А.Б. Александрова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. — 2021. — 3. — с. 112-126.
5. Честных О.В. Оценка запасов почвенного углерода лесных районов России с использованием баз данных почвенных характеристик / О.В. Честных, В.И. Грабовский, Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение. — 2022. — 3. — с. 227-238.

6. Щепашенко Д. Г. Запасы органического углерода в почвах России / Д. Г. Щепашенко, Л. В. Мухортова, А. З. Швиденко, Э. Ф. Ведрова // Почвоведение. — 2013. — 2. — с. 123-132.
7. Abakumov E. Carbon Polygons and Carbon Offsets: Current State, Key Challenges and Pedological Aspects / E. Abakumov, V. Polyakov // Carbon Polygons and Carbon Offsets: Current State, Key Challenges and Pedological Aspects. — 2021. — 11(10). DOI: doi.org/10.3390/agronomy11102013.
8. Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils / B. Berg, C. McLaugherty // Forest ecology and Management. — 2000. — 133. — p. 13-22.
9. Berg B. Plant Litter Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration / B. Berg // Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. — 2020. — 4.
10. Bruckman D. Pollination of a Native Plant Changes with Distance and Density of Invasive Plants in a Simulated Biological Invasion / D. Bruckman, D. R. Campbell // American Journal of Botany. — 2016. — 103(8). — p. 1458-1465.
11. Johnson R. E. Commitment and Motivation at Work: The Relevance of Employee Identity and Regulatory Focus / R. E. Johnson, C.-H. (D.) Chang, L.-Q. Yang // The Academy of Management Review. — 2010. — 35(2). — p. 226-245.
12. Lal R. Carbon Sequestration in Temperate Forests (in:) / R. Lal, K. Lorenz // Recarbonization of the Biosphere. Dordrecht: Springer. — 2012. — 1. — p. 187-201.
13. Langenbruch C. Effects of Beech (*Fagus sylvatica*), Ash (*Fraxinus excelsior*) and Lime (*Tilia spec.*) on Soil Chemical Properties in a Mixed Deciduous Forest / C. Langenbruch, M. Helfrich, H. Flessa // Plant and Soil. — 2012. — 352(1). — p. 389-403.
14. Misir M. Estimations of Total Ecosystem Biomass and Carbon Storage for Fir (*Abies nordmanniana* S. subsp. *bornmulleriana* (Mattf.)) Forests (Western Black Sea Region) / M. Misir, N. Misir, S. Erkut // Kastamonu University Journal of Forestry Faculty. — 2012. — 3. — p. 60-64.
15. Oliver K. A Systematic Review of Barriers to and Facilitators of the Use of Evidence by Policymakers / K. Oliver, S. Innvar, T. Lorenc // BMC Health Serv Res. — 2014. — 14(2). DOI: DOI: 10.1186/1472-6963-14-2.
16. Silver W. L. Global Patterns in Root Decomposition: Comparisons of Climate and Litter Quality Effects / W. L. Silver, R. K. Miya // Oecologia. — 2001. — 3. — p. 407-419.
17. Vesterdal L. Do Tree Species Influence Soil Carbon Stocks in Temperate and Boreal Forests? / L. Vesterdal, B. D. Sigurdsson, P. Gundersen // Forest Ecology and Management. — 2013. — 309. — p. 4-18.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Russian Federation. Prikaz Minprirody Rossii ot 27.05.2022 № 371 "Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredelenija ob'emov vybrosov parnikovyh gazov i pogloschenij parnikovyh gazov" (Zaregistririvan 29.07.2022 № 69451) [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 371 dated 27.05.2022 "On Approval of Methods for Quantifying Greenhouse Gas Emissions and Greenhouse Gas Uptake" (Registered 29.07.2022 No. 69451)]: Constitution No 371: [2022-05-27 :2023-11-27]. 2022. [in Russian]
2. Russian Federation. Metodicheskie ukazaniya po kolichestvennomu opredeleniju ob'ema pogloschenija parnikovyh gazov Utverzhdeny rasporyazheniem Minprirody Rossii ot 30.06.2017 №20-r [Methodological guidelines for quantifying the volume of greenhouse gas uptake were approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 20-r dated 30.06.2017]: Constitution [2017-06-30 :2023-11-27]. 2017. [in Russian]
3. Kudejarov V.N. Pochvennye istochniki uglekislogo gaza na territorii Rossii [Soil Sources of Carbon Dioxide in Russia] / V.N. Kudejarov // Carbon Cycle on the Territory of Russia. — 1999. — 1. — p. 165-201. [in Russian]
4. Kulagina V.I. Otsenka zapasov organicheskogo ugleroda v pochvennom pokrove ostrovnih ekosistem Kujbyshevskogo vodohranilisha [Assessment of Organic Carbon Reserves in the Soil Cover of Island Ecosystems of the Kuibyshev Reservoir] / V.I. Kulagina, S.S. Rjazanova, R.R. Shagidullin, A.B. Aleksandrova // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry. — 2021. — 3. — p. 112-126. [in Russian]
5. Chestnyh O.V. Otsenka zapasov pochvennogo ugleroda lesnyh rajonov Rossii s ispol'zovaniem baz dannyh pochvennyh harakteristik [Assessment of Soil Carbon Reserves in Russian Forest Areas Using Soil Characteristics Databases] / O.V. Chestnyh, V.I. Grabovskij, D.G. Zamolodchikov // Forest Science. — 2022. — 3. — p. 227-238. [in Russian]
6. Schepaschenko D. G. Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvah Rossii [Reserves of Organic Carbon in the Soils of Russia] / D. G. Schepaschenko, L. V. Muhortova, A. Z. Shvidenko, E. F. Vedrova // Soil Science. — 2013. — 2. — p. 123-132. [in Russian]
7. Abakumov E. Carbon Polygons and Carbon Offsets: Current State, Key Challenges and Pedological Aspects / E. Abakumov, V. Polyakov // Carbon Polygons and Carbon Offsets: Current State, Key Challenges and Pedological Aspects. — 2021. — 11(10). DOI: doi.org/10.3390/agronomy11102013.
8. Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils / B. Berg, C. McLaugherty // Forest ecology and Management. — 2000. — 133. — p. 13-22.
9. Berg B. Plant Litter Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration / B. Berg // Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. — 2020. — 4.
10. Bruckman D. Pollination of a Native Plant Changes with Distance and Density of Invasive Plants in a Simulated Biological Invasion / D. Bruckman, D. R. Campbell // American Journal of Botany. — 2016. — 103(8). — p. 1458-1465.
11. Johnson R. E. Commitment and Motivation at Work: The Relevance of Employee Identity and Regulatory Focus / R. E. Johnson, C.-H. (D.) Chang, L.-Q. Yang // The Academy of Management Review. — 2010. — 35(2). — p. 226-245.
12. Lal R. Carbon Sequestration in Temperate Forests (in:) / R. Lal, K. Lorenz // Recarbonization of the Biosphere. Dordrecht: Springer. — 2012. — 1. — p. 187-201.

13. Langenbruch C. Effects of Beech (*Fagus sylvatica*), Ash (*Fraxinus excelsior*) and Lime (*Tilia spec.*) on Soil Chemical Properties in a Mixed Deciduous Forest / C. Langenbruch, M. Helfrich, H. Flessa // *Plant and Soil*. — 2012. — 352(1). — p. 389-403.
14. Misir M. Estimations of Total Ecosystem Biomass and Carbon Storage for Fir (*Abies nordmanniana* S. subsp. *bornmulleriana* (Mattf.)) Forests (Western Black Sea Region) / M. Misir, N. Misir, S. Erkut // *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*. — 2012. — 3. — p. 60-64.
15. Oliver K. A Systematic Review of Barriers to and Facilitators of the Use of Evidence by Policymakers / K. Oliver, S. Innvar, T. Lorenc // *BMC Health Serv Res*. — 2014. — 14(2). DOI: DOI: 10.1186/1472-6963-14-2.
16. Silver W. L. Global Patterns in Root Decomposition: Comparisons of Climate and Litter Quality Effects / W. L. Silver, R. K. Miya // *Oecologia*. — 2001. — 3. — p. 407-419.
17. Vesterdal L. Do Tree Species Influence Soil Carbon Stocks in Temperate and Boreal Forests? / L. Vesterdal, B. D. Sigurdsson, P. Gundersen // *Forest Ecology and Management*. — 2013. — 309. — p. 4-18.