

DOI: 10.31509/2658-607x-202691-191
УДК 630*181.5 + 630*114

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

© 2026

Р. Р. Байтурина*, Л. Р. Салимьянова, А. Н. Хасанов

*ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет
450001, Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34*

*E-mail: aspirant_bsau@mail.ru

Поступила в редакцию: 06.04.2026

После рецензирования: 11.06.2026

Принята к печати: 19.06.2026

В статье представлены результаты оценки запасов углерода органического вещества в лесных почвах, включая подстилку, защитных лесов Республики Башкортостан. Цель исследования – оценка пулов углерода в почвах лесов, доминирующих в регионе. Объектами исследований выбраны леса Дмитриевского участкового лесничества и Уфимского лесничества с преобладанием липы мелколистной, березы повислой, осины, лиственницы сибирской и ясеня обыкновенного. Установлено, что запасы углерода в минеральном профиле почв варьируют от 3.4 кг С м⁻² (светло-серые лесные) до 16.4 кг С м⁻² (темно-серые лесные). Более 80% общего запаса углерода на территории лесничества аккумулируют темно-серые лесные почвы и черноземы. Лесные почвы аккумулируют на 17.8% больше углерода по сравнению с аналогичными почвами на непокрытых лесом землях. Лесная подстилка вносит значительный вклад в запасы углерода почв: максимальные запасы зафиксированы в лиственничниках (7.3 т С га⁻¹), минимальные – в лесах с доминированием ясеня (3.8 т С га⁻¹). Экспериментально доказано, что удаление подстилки приводит к статистически значимому снижению содержания гумуса в верхнем 10-сантиметровом слое на 34% и сокращению численности дождевых червей вдвое. Исследование подтверждает ключевую роль лесных экосистем, особенно лесов на плодородных почвах, в депонировании углерода и подчеркивает необходимость сохранения лесной подстилки как важного компонента углеродного пула. Полученные данные имеют практическое значение для разработки региональных программ управления лесами, направленных на смягчение последствий изменения климата.

Ключевые слова: углерод органического вещества, лесная подстилка, углеродный баланс, защитные леса, городские леса, почвенное плодородие, Республика Башкортостан, депонирование углерода

Углерод органического вещества является ключевым компонентом глобального углеродного цикла и важным индикатором экологической устойчивости экосистем (Chabbi et al., 2022; Moinet et al., 2023). Почвенный покров России содержит в шесть раз больше углерода, чем растительность (Hengl et al., 2017), при этом на почвы лесных экосистем приходится около 46% общих запасов органического углерода (для слоя 0-100 см) в почвенном покрове страны (Щепаченко и др., 2013). В контексте глобального изменения климата и принятых международных обязательств по достижению углеродной нейтральности оценка потенциала различных экосистем как стоков углерода приобретает первостепенное значение (Парижское соглашение ..., 2015; Roe et al., 2019).

Республика Башкортостан характеризуется значительной площадью лесного фонда (5748.2 тыс. га) и разнообразием почвенно-климатических условий, что определяет высокую вариабельность запасов углерода в лесных почвах (Об утверждении Лесного ..., 2018). Защитные леса региона, выполняющие

важнейшие средообразующие функции, являются перспективным резервуаром для депонирования углерода органического вещества. Однако, несмотря на значительный объем научных публикаций по проблеме углеродного цикла лесных экосистем, остаются недостаточно изученными вопросы пространственного распределения запасов углерода в почвах в зависимости от типа почв, породного состава древостоев и характера землепользования (Кузнецова, 2021; Тенькова и др., 2022).

В лесостепной и лесной зонах европейской части России в последние годы активно изучаются запасы углерода в лесных почвах и подстилке. Наиболее близкой к Республике Башкортостан по природным условиям является территория Республики Татарстан. В серых лесных почвах Татарстана запасы органического углерода в слое 0-30 см варьируют от 77.8 т га⁻¹ (светло-серые) до 160.3 т га⁻¹ (тёмно-серые), а в метровом слое – до 96.3 т га⁻¹ и 160.3 т га⁻¹ соответственно. Максимальные значения отмечены для чернозёмов – до 263 т га⁻¹ в слое 0-100 см. При этом накопление уг-

лерода в метровом слое в среднем на 46% выше, чем в слое 0-30 см (Иванов и др., 2022). Исследования Кулагиной и соавторов (2025) на дерново-подзолистых почвах Татарстана показали, что запасы углерода в почвах 0-30 см колеблются от 5.5 до 38.9 т га⁻¹, а доля биомассы древостоя от общих запасов экосистемы составляет от 20.4% до 91.4 % (Кулагина, 2025).

Для Оренбургской области характерна схожая картина. В. А. Усольцев с соавторами отмечают рост запасов углерода в регионе на 39% за 25 лет (с 1982 по 2007 гг.) – с 14.6 до 20.3 млн. т, что отражает позитивную динамику накопления углерода в лесах региона (Усольцев и др., 2021). В Самарской области общие запасы углерода в лесных экосистемах оцениваются в 100 млн. т, причём основная его часть сосредоточена именно в почвах (58 млн. т), что подчёркивает ключевую роль почвенного пула в общем балансе углерода лесных территорий (Кулагина, 2025).

Рекреационная нагрузка, особенно актуальная для защитных лесов городских территорий, приводит к снижению запасов углерода в лесной подстилке на 20-57% в хвойных насаждениях, а при сборе опада лиственных пород потери могут достигать 90%, что в абсолютном

выражении составляет 20-23 кг 100 м⁻² (Семенюк и др., 2023). Это вносит существенный вклад в эмиссию углерода с урбанизированных территорий.

Таким образом, имеющиеся данные по соседним регионам (Республика Татарстан, Оренбургская, Самарская области) создают основу для сравнительного анализа запасов углерода в защитных лесах Республики Башкортостан, чем определяется актуальность настоящего исследования.

Цель нашей работы – оценка запасов углерода органического вещества в почвах защитных лесов Республики Башкортостан, а также анализ факторов, определяющих их депонирующую способность.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории Дмитриевского участкового лесничества Уфимского лесничества Республики Башкортостан, а также на объектах озеленения общего пользования в границах городского округа г. Уфы. Объектами исследований выбраны леса с преобладанием *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L., *Larix sibirica* Ledeb. и *Fraxinus excelsior* L. разного возраста, а также городские насаждения парков и Лесопарка имени Лесоводов Башкортостана. Почвы в лес-

ных экосистемах представлены доминирующими в регионе типами: черноземы оподзоленные, темно-серые, серые и светло-серые лесные. В лесах, формируемых доминирующими в регионе древесными породами, заложено по 2 пробные площади (ПП) в каждом типе леса с учетом возрастной структуры древостоев и преобладающих типов почв. Общее количество пробных площадей в лесных экосистемах – 8, в городской черте – 19.

Почвенные разрезы закладывались в соответствии с ГОСТ Р 58595-2019. Отбор почвенных образцов проводился по генетическим горизонтам (Чурагулова, 2022) с помощью почвенного бура геолога БГ-65/10. Образцы лесной подстилки отбирались с площадок размером 0.33×0.33 м. Для оценки влияния лесной подстилки на почвенное плодородие был заложен полевой опыт с ежегодным удалением подстилки на экспериментальных участках.

Лабораторные анализы выполнены 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 14.01.2021). Определялись следующие показатели: гранулометриче-

ский состав (ГОСТ 12536-2014), pH водной и солевой суспензий (ГОСТ 26483-85, ГОСТ 26207-91), содержание гумуса по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), нитратные и аммиачные формы азота (ГОСТ 26488-85, ГОСТ 26489-85), гидролитическая кислотность (ГОСТ 26212-91), обменные кальций и магний (ГОСТ 26487-85), сумма обменных оснований (ГОСТ 26487-85).

Запасы углерода для полного минерального профиля рассчитывались по методике Минприроды РФ (Приказ № 371 от 27.05.2022) (Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371) по формуле: $*C_{\text{почва}} = (\text{Орг.}\% \times H \times \rho_b \times 58) / 100*$, где $C_{\text{почва}}$ – запас углерода, т С га⁻¹; Орг.% – содержание органического вещества, %; H – мощность слоя, см; ρ_b – объемная масса почвы, г см⁻³; 58 – коэффициент пересчета органического вещества в углерод.

Запас углерода в лесной подстилке определялся по формуле (Приказ Минприроды № 371). Учёт численности дождевых червей проводили общепринятым в почвенной зоологии методом ручной разборки почвенных проб (Гиляров, 1975). Закладку учётных площадок осуществляли на типичных участках каждого объекта исследования. Размер одной учётной пробы составлял 0.25 м² (50×50 см).

В каждом варианте закладывали по 5 проб для репрезентативности данных с учётом пространственной неоднородности распределения мезофауны. Отбор проб проведен послойно по генетическим горизонтам почвы до глубины 40-50 см (в лесных почвах основная масса дождевых червей сосредоточена в верхнем гумусовом слое). Почва из каждого слоя перебиралась вручную с извлечением всех обнаруженных червей и пересчетом их численности на 1 м² (экз. м⁻²). Статистическая обработка данных проведена с использованием программного пакета Statistica 10.0 с расчетом средних значений, стандартных отклонений, коэффициентов вариации, а также критерия Стьюдента для оценки достоверности различий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные в проведенных нами исследованиях по запасам углерода в почвах и подстилке защитных лесов г. Уфы согласуются с результатами аналогичных работ в соседних регионах, но имеют и выраженную специфику.

Запасы углерода органического вещества в почвах разных типов. Расчеты по методике Минприроды России выявили значительную вариабельность запасов углерода в почвах в зависимости

от типа почвы и глубины отбора проб (табл. 1).

Максимальные запасы органического углерода в гумусовом горизонте зафиксированы в темно-серых лесных почвах (16.4 кг С м⁻²) и черноземах (10.2 кг С м⁻²), минимальные – в светло-серых лесных почвах (6.1 кг С м⁻²). Существенную долю общих запасов углерода на территории лесничества вносят темно-серые лесные почвы и черноземы – более 80% от общего объема.

Профильное распределение углерода оказалось наиболее равномерным в черноземах и темно-серых лесных почвах, что свидетельствует о глубокой гумификации органического вещества и его активной миграции по профилю. В серых и светло-серых лесных почвах наблюдается резкое снижение содержания углерода с глубиной, что характерно для почв с менее интенсивным гумусонакоплением.

Наибольшее содержание органического вещества чернозема оподзоленного наблюдается в верхнем горизонте – 9.8%, наименьшее – 1.2% (Байтурина, 2025). Реакция почвенного раствора в верхнем гумусовом горизонте среднекислая: рН KCl 5.8-5.9. Гидролитическая кислотность и содержание поглощенных оснований варьируют в пределах

89.7-92.5%. Средний показатель валового запаса углерода в 20-сантиметровой толще почвы, рассчитанный по методи-

ке В. И. Кулагиной с соавт. (2021), составил 90.38 т га⁻¹, на всей площади лесного участка – 8099.7 т (Байтурина, 2025).

Таблица 1. Оценка запаса углерода по типам почвы и мощности горизонтов

Почва	Горизонт	Мощность горизонтов, см	Органическое вещество, %	Содержание Сорг., %	Запас углерода, кг С м ⁻²
Чернозем оподзоленный	A	0-30	9.8±0.5	5.7±0.3	10.2±0.3
	AB	31-45	3.5±0.3	2.0±0.1	11.2±0.2
	B	45-69	1.7±0.1	0.9±0.1	9.3±0.3
Темно-серая лесная	A ₁	0-38	8.8±0.4	5.1±0.4	16.4±0.2
	AB	45-55	4.0±0.4	2.3±0.2	16.3±0.2
	B	56-100	2.1±0.2	1.2±0.1	16.8±0.2
Серая лесная	A ₁	0-30	6.1±0.4	3.5±0.2	12.2±0.1
	A ₂ B	32-42	2.2±0.3	1.3±0.1	6.9±0.1
	B	45-55	1.7±0.1	0.9±0.1	7.5±0.1
Светло-серая лесная	A ₁	0-25	3.6±0.3	2.1±0.2	6.1±0.1
	A ₂ B	25-34	1.7±0.2	0.9±0.1	4.2±0.1
	B	34-47	0.9±0.1	0.5±0.1	3.2±0.1

Примечание: расчет выполнен по методике Приказа Минприроды № 371 (Байтурина, 2025).

Влияние характера землепользования на запасы углерода. Сравнение лесных земель и не покрытых лесом площадей (включая земли сельскохозяйственного назначения) показало, что

под пологом леса запасы органического углерода в темно-серых лесных почвах составляют 19.1 кг С м⁻², тогда как на аналогичных почвах вне лесного покрова – только 16.2 кг С м⁻². Таким обра-

зом, лесные почвы аккумулируют с почвами, не занятыми лесной растительностью (табл. 2).

Таблица 2. Содержание запаса углерода в почвах покрытых и не покрытых лесом земель

Почва	Гумус, %	Сорг., %	Мощность горизонта, см	Запасы углерода, т га ⁻¹	Запас углерода, кг С м ⁻²
Темно-серая лесная (лесной участок)	8.8±0.6	5.1±0.9	35	191.2±3.5	19.1±0.4
Темно-серая лесная (непокрытая лесом площадь)	7.0±0.5	4.1±0.7	40	162.4±2.9	16.2±0.3

Длительное накопление органического вещества под пологом леса, отсутствие механической обработки почвы и постоянное поступление лесного опада обеспечивают более высокие концентрации гумуса в сравнении с сельскохозяйственными землями, почва которых подвергается регулярному механическому воздействию и теряет органический материал при уборке урожая.

Роль лесной подстилки в углеродном балансе. Лесная подстилка является важным резервуаром углерода и играет ключевую роль в поддержании почвенного плодородия. Запасы углерода в подстилке существенно варьируют в зависимости от породного состава дре-

востоя (табл. 3).

Наибольшие запасы углерода в лесной подстилке выявлены в лиственных лесах (7.3 т С га⁻¹), что обусловлено медленным разложением хвойного опада, богатого лигнином и смолами. Минимальные запасы зафиксированы под пологом ясеневых лесов (3.8 т С га⁻¹), что связано с высоким качеством опада (богатство азотом, низкое соотношение С/Н) и его быстрой минерализацией.

В липняках и березняках запасы углерода в подстилке составили 6.7 и 6.2 т С га⁻¹ соответственно. Промежуточное положение занимают осинники (5.3 т С га⁻¹).

Таблица 3. Запасы углерода в лесной подстилке типов леса, формируемых преобладающими древесными породами

Преобладающая порода	Запас углерода в подстилке, т С га ⁻¹
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	7.3±1.0
<i>Tilia cordata</i> Mill.	6.7±0.9
<i>Betula pendula</i> Roth.	6.2±0.8
<i>Populus tremula</i> L.	5.3±0.7
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	3.8±0.5

Лабораторный анализ содержания азота в лесном опаде показал, что в лесах с преобладанием *T. cordata* содержится 2.0±0.1%, а в лесах с *B. pendula* – 1.4±0.1% азота на 100 г сухого вещества.

Экспериментальное изучение роли лесной подстилки. Эксперимент

по удалению лесной подстилки, продолжавшийся три года, позволил количественно оценить ее вклад в поддержание почвенного плодородия. На участках с удаленной подстилкой по сравнению с контролем (сохраненная подстилка) выявлены следующие изменения (табл. 4).

Таблица 4. Влияние лесной подстилки на свойства почвы и живую фауну

Показатель	Контроль (с подстилкой)	Участок без подстилки	Изменение, %
Содержание гумуса в слое 0-10 см, %	8.8±0.2	5.8±0.1	-34
Содержание гумуса в слое 10-30 см, %	4.0±0.1	3.7±0.1	-7,5
Численность дождевых червей, ос. м ⁻²	37.0±4.1	15.0±1.7	-59
Число видов живого напочвенного покрова	16.0±0.6	18.0±0.6	+12,5
Число травянистых растений, шт. м ⁻²	65.0±5.8	32.0±2.9	-51

Содержание гумуса в верхнем 10-сантиметровом слое почвы снизилось на 34% (с 8.8% до 5.8%), тогда как на глубине 10-30 см различия оказались статистически незначимыми. Это подтверждает, что влияние подстилки наиболее выражено в корнеобитаемом слое.

Численность дождевых червей уменьшилось вдвое (с 37 до 15 ос. м⁻²), что связано с ухудшением пищевых условий и нарушением микроклимата почвы. При этом отмечена тенденция к увеличению числа видов живого напочвенного покрова (с 16 до 18), однако различия статистически незначимы ($p > 0.05$) при снижении общей численности травянистых растений (с 65 до 32 шт. м⁻²), что свидетельствует о смене экологических условий и появлении видов-пионеров на нарушенных участках.

Положительным явлением стало увеличение всходов клена и вяза, однако одновременно наблюдалось исчезновение всходов липы. Достоверность различий в содержании гумуса по вариантам опыта значима при глубине взятия образца 10 см ($t_{\text{выч.}} \gg t_{\text{табл.}}$, $p > 0.05$, $P_t \gg 95\%$).

Почвы городских лесов (урбаноземы). Согласно морфологии почв, фо-

новые почвы (Лесопарк имени Лесоводов Башкортостана) относятся к серым лесным. По морфологии они занимают промежуточное положение между дерново-подзолистыми и чернозёмами, но по мощности гумусового горизонта (до 38 см), высокому содержанию гумуса (до 8-9%) и структуре ближе к чернозёмам. Лесная подстилка мощностью 2-4 см представлена слаборазложившимся листовым опадом. В городских парках подстилка нарушена или удалена, а почвы трансформированы в урбаноземы. Анализ почв городских парков г. Уфы показал снижение запасов углерода органического вещества по сравнению с естественными лесными аналогами (табл. 5). Содержание углерода органического вещества в верхних слоях городских почв ниже (0.5–3.9%) по сравнению с лесными участками (0.5–5.7%).

Наибольшие запасы углерода среди урбаноземов зафиксированы в почвах лесопарка им. Лесоводов Башкортостана (10.7–11.5 кг С м⁻²) – значения, наиболее близкие к лесным участкам, что связано с сохранением естественной лесной подстилки и минимальной антропогенной трансформацией.

Таблица 5. Оценка запаса углерода в урбаноземах

Объект	Горизонт	Органическое вещество, %	Сорг., %	Запас углерода, кг С м ⁻²
Лесопарк имени Лесоводов Башкортостана	A ₁	4.6±0.5	2.7±0.3	11.5±1.1
	A ₁ -A ₂	3.5±0.4	2.0±0.2	10.7±1.0
	A ₂ -B	2.4±0.4	1.4±0.2	9.7±1.0
	B	1.2±0.2	0.7±0.1	8.4±0.9
ПКиО им. М. Гафури	A ₁	4.6±0.5	2.7±0.3	6.7±0.9
	A ₁ -A ₂	3.1±0.4	1.8±0.2	7.2±0.9
	A ₂ -B	2.6±0.4	1.5±0.2	7.5±0.9
	B	1.0±0.2	0.6±0.1	4.2±0.8
ПКиО «Первомайский»	A	6.7±0.7	3.9±0.4	7.8±0.9
	AB	7.4±0.9	4.9±0.5	23.6±2.2
	A ₁	8.0±0.8	4.6±0.5	31.6±3.0
Парк КиО Демского района	A _{насып.}	6.2±0.9	3.6±0.5	7,2±0.6
	A ₁	9.5±1.0	5.5±0.6	27.6±2.6

Для городских почв характерны следующие особенности:

- повышенная плотность (до 21 кг см⁻² и более на участках с высокой рекреационной нагрузкой);
- наличие антропогенных включений (строительный мусор, щебень, асфальтовая крошка);

• повышение щелочности (рН солевой вытяжки до 7.5-8.0);

- неравномерное распределение питательных элементов.

Повышенная щелочность городских почв объясняется поступлением хлоридов кальция и натрия, используемых для посыпки дорог зимой, а также высвобождением кальция из строитель-

го мусора, цемента и кирпича под воздействием атмосферных осадков (Байтурина и др., 2023).

В Лесопарке имени Лесоводов Башкортостана запасы углерода в слое 0-30 см составили в среднем около 115 кг С м⁻² или 1150 т га⁻¹ (суммируя данные по горизонтам А₁ и А₁-А₂ из табл. 5). Это сопоставимо с диапазоном, установленным для тёмно-серых лесных почв республики Татарстан – 160 т га⁻¹ в метровом слое (Иванов и др., 2022), учитывая, что наши данные приведены для верхних 30 см, где сосредоточена основная часть корнеобитаемого слоя.

В городских парках («М. Гафури», «Первомайский», Демского района) запасы углерода варьируют от 4.2 до 31.6 кг С м⁻² в различных горизонтах, что значительно ниже фоновых значений. В условиях урбанизации происходит трансформация почвенного профиля: формируются насыпные и перемешанные горизонты с более низким содержанием органического вещества, что коррелирует с данными по Самарской области, где изменения в содержании гумуса при антропогенной трансформации могут достигать ±0.5%. Аналогичные тенденции снижения запасов углерода отмечаются и для республики Татарстан: дерново-подзолистые суглинистые поч-

вы, наиболее близкие к урбанизации по степени трансформации, накапливают лишь 77.6 т га⁻¹ в метровом слое (Иванов, 2022).

В фоновых условиях (лесопарк) мощность подстилки составляет 2-4 см, а запасы углерода в ней в лесных экосистемах, согласно литературным данным, варьируют в диапазоне 3.3-5.8 т С га⁻¹, что составляет 4-9% от общих запасов в почвах. В наших условиях удаление подстилки на городских участках приводит к дефициту углерода в верхних минеральных горизонтах (снижение гумуса в слое 0-10 см на 34% по сравнению с контролем). Это полностью согласуется с выводами Семенюк с соавт. (2022) о том, что рекреационная нагрузка на лесные подстилки приводит к существенным потерям органического вещества и дополнительной эмиссии углерода в атмосферу (Семенюк, 2022). Снижение запасов углерода в подстилках под воздействием рекреации составляет 20-57% в хвойных и до 90% в лиственных в связи с выносом опада (Кулагина, 2025), что подтверждает важность сохранения лесной подстилки как барьера для потерь почвенного углерода.

В целом наши результаты вписываются в региональный тренд, установленный для лесостепных и лесных почв

Республики Татарстан, Оренбургской и Самарской областей, но демонстрируют более выраженную деградацию почвенного пула углерода в условиях рекреационной нагрузки урбанизированных защитных лесов. Это подчёркивает необходимость специального режима охраны подстилки и верхних горизонтов почвы в парках и лесопарках для сохранения их углерододепонирующей функции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует высокий депонирующий потенциал лесных почв, включая подстилку, в защитных лесах Республики Башкортостан.

1. Ключевыми факторами, определяющими запасы органического углерода в почвах, являются тип почвы (наибольший вклад вносят темно-серые лесные почвы и черноземы – более 80% общего запаса) и характер землепользования (лесные экосистемы аккумулируют на 17.8% больше углерода по сравнению с агроценозами). При этом необходимо заметить, что авторы в данной работе не проводили сравнительную оценку влияния типов леса на запасы углерода в почвах.

2. Лесная подстилка выступает не только как важный резервуар уг-

лерода (запасы варьируют от 3.78 т С га⁻¹ в ясеневых до 7.3 т С га⁻¹ в лиственных насаждениях), но и как ключевой фактор поддержания почвенного плодородия. Экспериментально доказано, что удаление подстилки приводит к снижению содержания гумуса в верхнем 10-сантиметровом слое на 34% и сокращению численности дождевых червей вдвое.

3. Городские почвы характеризуются снижением запасов углерода по сравнению с естественными лесными аналогами. Наибольшие запасы среди урбаноземов сохраняются в лесопарках, приближенных к естественным экосистемам (10.7-11.5 кг С м⁻²).

4. Полученные данные имеют практическое значение для разработки региональных программ управления лесами, направленных на смягчение последствий изменения климата. Рекомендуется сохранение лесной подстилки при проведении лесохозяйственных мероприятий, а также разработка системы мер по восстановлению углерододепонирующей функции городских лесов и парков.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением сети пробных площадей на весь спектр лесорастительных условий региона, оценкой

динамики запасов углерода в почвах при различных режимах лесопользования, с оценкой влияния разных типов леса, а также с разработкой региональных моделей прогноза углеродного бюджета лесных экосистем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам почвенно-химической лаборатории ФГУ «Российский центр защиты леса» – «ЦЗЛ Республики Башкортостан» за помощь в проведении аналитических исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» по теме «Мониторинг экологической продуктивности лесов Республики Башкортостан в системе низкоуглеродного развития территорий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Байтурина Р. Р. Мониторинг экологической продуктивности лесов Республики Башкортостан в системе низкоуглеродного развития территорий: автореф. ... докт. с.-х. наук (спец. 4.1.6). Уфа: БГАУ, 2025. 40 с.

Байтурина Р. Р., Султанова Р. Р., Асылбаев И. Г. Оценка запаса углерода

в лесной подстилке и верхнем слое почв насаждений основных лесобразующих пород // *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. № 12 (40). DOI: 10.23649/JAE.2023.40.24

Гиляров М. С. Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. 281 с.

ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. III, 38 с.

ГОСТ 26207-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введ. 1993-07-01. М.: Издательство стандартов, 1992. 7 с.

ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидrolитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. Введ. 1993-07-01. М.: Издательство стандартов, 1992. 5 с.

ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 1993-07-01. М.: Издательство стандартов, 1992. 6 с.

ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее

- рН по методу ЦИНАО. Введ. 1986-07-01. М.: Издательство стандартов, 1986. 6 с.
- ГОСТ 26487-85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Введ. 1986-07-01. М.: Издательство стандартов, 1986. 7 с.
- ГОСТ 26488-85 Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО. Введ. 1986-07-01. М.: Издательство стандартов, 1986. 5 с.
- ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО. Введ. 1986-07-01. М.: Издательство стандартов, 1986. 4 с.
- ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Отбор проб. Введ. 2020-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. IV, 32 с.
- Иванов Д. В., Александрова А. Б.* Предварительные оценки запасов углерода в почвах лесных экосистем Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 2. С. 56-60. DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.2.56.60>
- Кузнецова А. И.* Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 4. Статья № 95. DOI: 10.31509/2658-607x-2021-44-95
- Кулагина В. И., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Гордеева К. А., Сунгатуллина Л. М., Рупова Э. Х.* Запасы углерода в почвах и биомассе древостоя молодых и средневозрастных лесов Татарстана // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2025. Т. 11 (77). № 1. С. 53-66. DOI: 10.29039/2413-1725-2025-11-1-53-66
- Кулагина В. И., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Александрова А. Б.* Оценка запасов органического углерода в почвенном покрове островных экосистем Куйбышевского водохранилища // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т. 7 (73). № 3. С. 112-126.
- Об утверждении Лесного плана Республики Башкортостан: Указ Главы Республики Башкортостан от 27.12.2018 № УГ-340 (ред. от 17.10.2024). URL: <http://docs.cntd.ru/document/550343065> (дата обращения: 15.01.2026).
- Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции об изменении климата. ООН, 2015. 32 с.

- URL: <https://clck.ru/TwpOo> (дата обращения: 20.01.2026).
- Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.07.2022 № 69451).
- Семенюк О. В., Телеснина В. М., Богатырев Л. Г., Баранова О. Ю. Роль зеленых насаждений в адаптации урбоэкосистем к изменениям климата // Лесоведение. 2023. № 4. С. 339–352. DOI: 10.31857/S0024114823040083
- Тебенькова Д. Н., Гичан Д. В., Гагарин Ю. Н. Влияние лесоводственных мероприятий на почвенный углерод: обзор // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 4. Статья № 116. DOI: 10.31509/2658-607x-202252-116
- Усольцев В. А., Ковязин В. Ф., Цепордей И. С. Текущее накопление углерода в лесах двух экорегионов России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Vol. 237. P. 75–96. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.75-96
- Чурагулова З. С. Почвоведение: учебник для вузов. СПб.: Лань, 2022. 284 с.
- Щепашенко Д. Г., Мухортова Л. В., Швиденко А. З., Ведрова Э. Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123–132.
- Chabbi A., Rumpel C., Hagedorn F., Schrumpf M., Baveye P. C. Editorial: Carbon Storage in Agricultural and Forest Soils // Frontiers in Environmental Science. 2022. Vol. 10. Article 848572. DOI: 10.3389/fenvs.2022.848572
- Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G. B. M., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning // PLoS ONE. 2017. Vol. 12. No. 2. Article e0169748. DOI: 10.1371/journal.pone.0169748
- Moinet G. Y. K., Hijbeek R., van Vuuren D. P., Giller K. E. Carbon for soils, not soils for carbon // Global Change Biology. 2023. Vol. 29. No. 9. P. 2384–2398.
- Roe S., Streck C., Obersteiner M., Frank S., Griscom B., Drouet L. Contribution of the land sector to a 1.5°C world // Nature Climate Change. 2019. Vol. 9. No. 11. P. 817–828. DOI: 10.1038/s41558-019-0591-9

REFERENCES

Baiturina R. R., *Monitoring ekologicheskoy produktivnosti lesov Respubliki Bash-*

- kortostan v sisteme nizkouglerodnogo razvitiya territoriy: avtoref. ... dokt. s.-h. nauk* (Monitoring of ecological productivity of forests in the Republic of Bashkortostan in the system of low-carbon development of territories. Abstract of diss. ... Dr. Sci. (Agriculture), Ufa: BGAU, 2025, 40 p.
- Baiturina R. R., Sultanova R. R., Asylbaev I. G., Otsenka zapasa ugleroda v lesnoy podstilke i verkhnem sloe pochv nasa-zhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod (Assessment of carbon stock in forest litter and upper soil layer of stands of main forest-forming species), *Journal of Agriculture and Environment*, 2023, No 12(40), DOI: 10.23649/JAE.2023.40.24
- Chabbi A., Rumpel C., Hagedorn F., Schrumpf M., Baveye P. C., Editorial: Carbon Storage in Agricultural and Forest Soils, *Frontiers in Environmental Science*, 2022, Vol. 10, Article 848572, DOI: 10.3389/fenvs.2022.848572
- Churakulova Z. S., *Pochvovedenie: uchebnik dlya vuzov* (Soil Science: textbook for universities), Saint Petersburg: Lan, 2022, 284 p.
- Gilyarov M. S., *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovaniy* (Methods of Soil-Zoological Research), Moscow: Nauka, 1975, 281 p.
- GOST 12536-2014 Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava (Soils. Laboratory methods for determination of granulometric (grain) and microaggregate composition). Vved. 2015-07-01, Moscow: Standartinform, 2019, III, 38 p.
- GOST 26207-91 Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedineniy fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikatsii TsINAO (Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Kirsanov method modified by TsINAO). Vved. 1993-07-01. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1992, 7 p.
- GOST 26212-91 Pochvy. Opredelenie gidroliticheskoy kislotnosti po metodu Kappena v modifikatsii TsINAO (Soils. Determination of hydrolytic acidity by Kappen method modified by TsINAO), Vved. 1993-07-01, Moscow: Izdatelstvo standartov, 1992, 5 p.
- GOST 26213-91 Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva (Soils. Methods for determination of organic matter). Vved. 1993-07-01, Moscow: Izdatelstvo standartov, 1992, 6 p.

- GOST 26483-85 Pochvy. Prigotovlenie solevoy vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu TsINAO (Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by TsINAO method). Vved. 1986-07-01, Moscow: Izdatelstvo standartov, 1986, 6 p.
- GOST 26487-85 Pochvy. Opredelenie obmennogo kaltsiya i obmennogo (podvizhnogo) magniya metodami TsINAO (Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by TsINAO methods). Vved. 1986-07-01, Moscow: Izdatelstvo standartov, 1986, 7 p.
- GOST 26488-85 Pochvy. Opredelenie nitratov metodom TsINAO (Soils. Determination of nitrates by TsINAO method). Vved. 1986-07-01, Moscow: Izdatelstvo standartov, 1986, 5 p.
- GOST 26489-85 Pochvy. Opredelenie obmennogo ammoniya po metodu TsINAO (Soils. Determination of exchangeable ammonium by TsINAO method). Vved. 1986-07-01, Moscow: Izdatelstvo standartov, 1986, 4 p.
- GOST R 58595-2019 Pochvy. Othor prob (Soils. Sampling). Vved. 2020-01-01, Moscow: Standartinform, 2019, IV, 32 p.
- Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink G. B. M., Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A., SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning, *PLoS ONE*, 2017, Vol. 12, No 2, Article e0169748, DOI: 10.1371/journal.pone.0169748
- Ivanov D. V., Aleksandrova A. B., Predvaritelnye otsenki zapasov ugleroda v pochvakh lesnykh ekosistem Respubliki Tatarstan (Preliminary estimations of carbon stocks in soils of forest ecosystems of the Republic of Tatarstan), *Russian Journal of Applied Ecology*, 2022, No 2, pp. 56–60, DOI: 10.24852/2411-7374.2022.2.56.60
- Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Gordeeva K. A., Sungatullina L. M., Rупova E. H., Zapasy ugleroda v pochvakh i biomassye drevostoya molodykh i srednevozrastnykh lesov Tatarstana (Carbon stocks in soils and stand biomass of young and mid-aged forests of Tatarstan), *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2025, Vol. 11 (77), No 1, pp. 53–66, DOI: 10.29039/2413-1725-2025-11-1-53-66
- Kulagina V. I., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Alexandrova A. B., Otsenka zapasov organicheskogo ugleroda

- v pochvennom pokrove ostrovnykh ekosistem Kuybyshevskogo vodokhranilishcha (Assessment of soil organic carbon stocks in the island ecosystems of the Kuibyshev Reservoir), *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, 2021, Vol. 7 (73), No 3, pp. 112–126.
- Kuznetsova A. I., Vliyanie rastitel'nosti na zapasy pochvennogo ugleroda v lesah (obzor) (Influence of vegetation on soil carbon stocks in forests (review)), *Forest Science Issues*, 2021, Vol. 4, No 4, Article 95, DOI: 10.31509/2658-607x-2021-44-95
- Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Order No. 371 of May 27, 2022 «Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob'emov vybrosov parnikovyykh gazov i pogloshchenij parnikovyykh gazov» («On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals»), Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on July 29, 2022 No 69451, URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/404916324> (2025, 10 January).
- Moinet G. Y. K., Hijbeek R., van Vuuren D. P., Giller K. E, Carbon for soils, not soils for carbon, *Global Change Biology*, 2023, Vol. 29, No 9, pp. 2384–2398.
- Ob utverzhdenii Lesnogo plana Respubliki Bashkortostan (On approval of the Forest Plan of the Republic of Bashkortostan), Decree of the Head of the Republic of Bashkortostan No. UG-340 of December 27, 2018 (as amended on October 17, 2024). URL: <http://docs.cntd.ru/document/550343065> (2025, 15 January)
- Paris Agreement under the United Nations Framework Convention on Climate Change: adopted December 12, 2015. UN, 2015, 32 p, URL: <https://clck.su/TwpOo> (2025, 20 January).
- Roe S., Streck C., Obersteiner M., Frank S., Griscom B., Drouet L., Contribution of the land sector to a 1.5 °C world, *Nature Climate Change*, 2019, Vol. 9, No 11, pp. 817–828, DOI: 10.1038/s41558-019-0591-9
- Semenyuk O. V., Telesnina V. M., Bogatyrev L. G., Baranova O. Yu., Rol' zelenykh nasazhdeniy v adaptatsii urboekosistem k izmeneniyam klimata (The Role of Greenery in Adaptation of Urban Ecosystems to Climate Change), *Lesovedenie*, 2023, No 4, pp. 339–352,

- DOI: 10.31857/S0024114823040083
- Shchepashchenko D. G., Mukhortova L. V., Shvidenko A. Z., Vedrova E. F., Zapasy organicheskogo ugleroda v pochvakh Rossii (Soil organic carbon stocks in Russia), *Pochvovedenie*, 2013, No 2, pp. 123–132.
- Tebenkova D. N., Gichan D. V., Gagarin Yu. N., Vliyanie lesovodstvennykh meropriyatij na pochvennyj uglerod: obzor (Influence of silvicultural practices on soil carbon: a review), *Forest Science Issues*, 2022, Vol. 5, No 4, Article 116, DOI 10.31509/2658-607x-202252-116
- Usoltsev V. A., Kovyazin V. F., Tseporey I. S., Tekushchee nakoplenie ugleroda v lesakh dvukh ekoregionov Rossii (Current carbon accumulation in forests of two ecoregions of Russia), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2021, No 237, pp. 75–96. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.75-96

CARBON STOCKS IN SOILS OF PROTECTIVE FORESTS OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

R. R. Baiturina*, L. R. Salimyanova, A. N. Khasanov

*Bashkir State Agrarian University
50-letiya Oktyabrya St., 34, Ufa 450001, Russian Federation*

*E-mail: aspirant_bsau@mail.ru

Received: 06.04.2026

Revised: 11.06.2026

Accepted: 19.06.2026

The article provides quantitative estimates of organic carbon stocks in the soils and forest litter of protective forests in the Republic of Bashkortostan. The aim of the study is to quantify carbon pools in soils and forest litter of the main forest-forming species in the region. The research objects were stands of the Dmitrievskoe and Ufa Forest Districts dominated by small-leaved lime, silver birch, aspen, Siberian larch and common ash. Field sampling and laboratory analysis revealed that soil organic carbon stocks range from 3.4 kg C m⁻² (light gray forest soils) to 16.4 kg C m⁻² (dark gray forest soils). Dark gray forest soils and chernozems

accumulate more than 80% of the total carbon stock in the forest district. Forest soils accumulate 17.8% more carbon compared to similar soils in non-forested areas. Forest litter contributes significantly to the carbon balance: maximum stocks were recorded in larch stands (7.3 t C ha^{-1}), minimum – in ash-dominated stands (3.78 t C ha^{-1}). The removal of forest litter was experimentally proven to lead to a statistically significant decrease in humus content in the upper 10-cm layer by 34% and a twofold reduction in earthworm abundance. The study confirms the key role of forest ecosystems, especially mature forests on fertile soils, in carbon sequestration and emphasizes the need to preserve forest litter as a crucial component of the carbon pool. The obtained data are of practical importance for the development of regional forest management programs aimed at mitigating climate change impacts.

Keywords: *soil organic carbon, forest litter, carbon balance, protective forests, urban forests, soil fertility, Republic of Bashkortostan, carbon sequestration*

Рецензент: д. б. н., г. н. с. Чертов О. Г.

Р. Р. Байтурина, Л. Р. Салимьянова, А. Н. Хасанов