

УДК 631.461

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-53-66

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ И БИОМАССЕ ДРЕВОСТОЯ МОЛОДЫХ И СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ЛЕСОВ ТАТАРСТАНА

**Кулагина В. И., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р.,
Гордеева К. А., Сунгатуллина Л. М., Рупова Э. Х.**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
E-mail: viksoil@mail.ru*

Определены запасы органического углерода в почвах, биомассе древостоя и других компонентах лесных экосистем на примере биотопов Республики Татарстан, расположенных на дерново-подзолистых почвах. Установлено, что запасы углерода в биомассе древостоя молодняков естественного происхождения составляют 8,5–50,8 т/га, искусственного 123,0 т/га, средневозрастных лесов 102,6–173,4 т/га. Доля биомассы древостоя от общих запасов экосистемы составляет от 20,4 % до 91,4 %. Запасы углерода в слое почв 0–30 см колеблются от 5,5 до 38,9 т/га, что составляет от 4,1 % до 73,7 % общих запасов. В березняке 10-летнего возраста соотношение запасов углерода в древостое и почве составляет 3:10, в березняке 25 летнего возраста оно изменяется на 11:2, в молодом сосняке естественного происхождения примерно 2:1, в искусственных посадках сосны того же возраста 22:1.

Ключевые слова: почва, древостой, запасы углерода, лесные экосистемы, компоненты биогеоценоза.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности оценки объема поглощения парниковых газов лесными экосистемами остается актуальной проблемой, о чем свидетельствует содержание утвержденного 22 октября 2022 г. распоряжением правительства РФ инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». Проект предусматривает достичь повышения точности оценки за счет уточнения качественных и количественных характеристик лесов и учета вклада почв. Уточнение об учете вклада почв не случайно. По сравнению с почвами сельскохозяйственных угодий почвы лесных экосистем изучены недостаточно. Не на все лесные участки имеются крупномасштабные почвенные карты, еще чаще отсутствуют аналитические данные [1–4]. О дефиците аналитических данных для лесных почв косвенно свидетельствует способ составления справочных данных по запасам углерода, приведенных в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» [5]. Основой справочных данных послужила информация примерно по 1000 почвенным разрезам из 300 литературных источников [1, 2]. Прделана, безусловно, очень большая и полезная работа. Однако это говорит об отсутствии материалов систематического обследования почв лесных территорий, по крайней мере, на момент

составления справочных таблиц. Кроме того, тысяча разрезов на всю территорию Российской Федерации – это небольшое количество.

Справочные данные позволяют получить общее представление о запасах почвенного углерода на занятых лесом участках в пределах каждого из 12 выделенных на территории России макрорегионов, однако часто не совпадают с запасами углерода в почвах конкретного лесного массива [4, 6–8]. По результатам первого этапа Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), завершившегося в 2020 г., запас углерода в почвах также не рассчитывался [9]. Соответственно, информации о соотношении запасов углерода в почвах и фитомассе лесов также в настоящее время немного [10]. Выявление соотношения запасов углерода в почвах и биомассе древостоя молодняков и средневозрастных лесов позволит уточнить направление потоков углерода в лесных экосистемах в период развития, наиболее продуктивный для декарбонизации атмосферы.

В международных системах расчета основное внимание уделяется «управляемым лесам», однако секвестрация углерода весьма успешно осуществляется и естественными лесами, которые почему-то незаслуженно предлагают игнорировать при расчетах [11]. Пополнение базы данных по запасам углерода в почвах и других компонентах лесных экосистем необходимо для увеличения точности определения и позволит добиться признания на международном уровне реальной поглощающей способности российских лесов.

Цель данной работы определить запасы углерода в биомассе древостоя и в почвах молодых и средневозрастных лесов Республики Татарстан, их соотношение для лесов разного породного состава и происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проводились весной и летом 2024 г. на 6 пробных площадках (рис. 1), занятых сосняками, березняками, осинником и дубняком в возрасте от 10 до 40 лет.

В Республике Татарстан по данным на 2023 г. осинники занимают 235,3 тыс. га или 20,4 % площади лесов РТ, березняки 203,7 тыс. га (17,6 %), сосняки 181,3 тыс. га или (15,7 %), дубняки 160,1 тыс. га (13,8 %) [12].

Пробные площадки закладывались на участках с лесами преобладающих пород. Более подробные сведения о пробных площадках представлены в табл.1.

Формула древостоев не приводится, так как леса во всех случаях представлены одной породой без примесей.

Леса трех пробных площадок появились путем зарастания залежей, одной – представляют собой искусственные посадки. Осинник и дубняк – древостой естественного происхождения, но не на залежи.

Размер пробных площадок колебался от 0,024 га до 0,259 га, определялся густотой древостоя и необходимостью охватить замерами количество деревьев, достаточное для репрезентативной выборки (120–200 штук).

На пробной площадке подсчитывалось количество деревьев, замерялся диаметр каждого дерева на высоте 130 см. Для тонкомеров ступени толщины составляли 1 см, для деревьев диаметром больше 8 см – 2 см. Объем древесины определялся по

объемным таблицам, в том числе по объемным таблицам тонкомеров. Обычно деревья менее 8 см диаметром относят не к древостою, а к подросту, но нас наиболее интересовали запасы углерода именно в молодых лесах, где такие деревья образуют первый ярус.

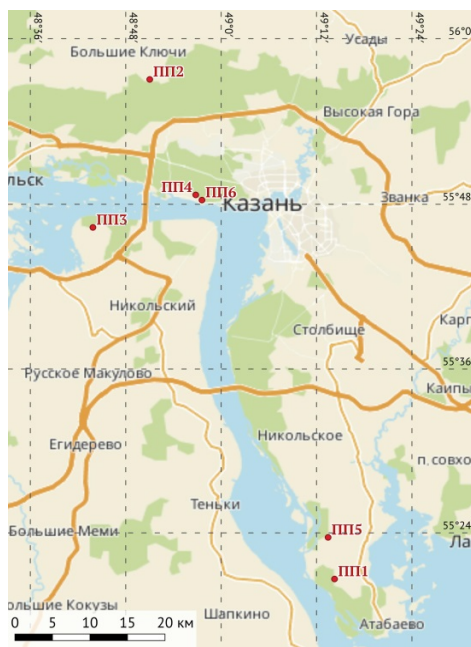


Рис. 1. Места расположения пробных площадок.

Таблица 1

Характеристика пробных площадок

№ пробной площадки	Место расположения	Преобладающая порода
ПП1	Охранная зона Саралинского участка Волжско-Камского заповедника, залежь	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
ПП2	Охранная зона Раифского участка Волжско-Камского заповедника, залежь	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)
ПП3	Севернее н.п. Иннополис, залежь	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)
ПП4	Близ ст. Новое Аракчино, искусственные посадки	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
ПП5	Охранная зона Саралинского участка Волжско-Камского заповедника, близ с. Тетеево	Осина (<i>Populus tremula</i>)
ПП6	Близ ст. Новое Аракчино	Дуб высокоствольный (<i>Quercus petraea</i>)

Запасы углерода в биомассе древостоя определялись по формуле:

$$C_{Pij} = V_{ij} \times K_{Pij}, \quad (1)$$

где C_{Pij} – запас углерода в биомассе древостоев группы возраста i преобладающей породы j , тонн С; V_{ij} – объемный запас стволовой древесины насаждений группы возраста i преобладающей породы j , м³/га; K_{Pij} – конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода в биомассе древостоев группы возраста i преобладающей породы j , т/м³ [5].

Запас углерода в валеже и пнях рассчитывался по формуле:

$$C_v = V_v \times \rho_v \times 0,5, \quad (2)$$

где C_v – запас углерода в валеже, т/га; V_v – объем валежа (или пней), м³; ρ_v – плотность валежа, см³; 0,5 – коэффициент пересчета массы валежа на углерод.

Лесная подстилка отбиралась при помощи рамки. Расчет запасов углерода проводился умножением абсолютно сухого веса пробы на коэффициент 0,4.

На каждой из пробных площадок закладывали 1 глубокий почвенный разрез, 2 полуямы и 2 прикопки. Образцы отбирали по генетическим горизонтам. Содержание органического вещества определяли по методу И.В. Тюрина (ГОСТ 26213–91), объемный вес – методом режущего кольца (ГОСТ 5180–2015).

Запасы углерода подсчитывались для слоев 0–20 см, 0–30 см, 0–50 см, 1 м. Запасы углерода для слоя 0–20 см приводятся во многих работах, так как этот слой примерно соответствует мощности пахотного горизонта, кроме того, в дерново-подзолистых, светло-серых и серых лесных почвах гумусовый горизонт помещается в пределах данного слоя [10, 13]. Слой 0–30 см рекомендован ФАО ООН для учета запасов органического углерода в почвах мира [13, 14], этот же слой рекомендован «Методическими указаниями по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (2017). Слой 0–50 см – обычно применяется для определения динамики запасов углерода при смене вида землепользования [13]. Считается, что в метровой толще для большинства почв нечерноземной зоны сосредоточен практически весь запас органического углерода.

Запасы углерода в отдельных горизонтах рассчитывались по формуле:

$$C = \text{OrgV} \times h \times V_{\text{вес}} \times 0,58, \quad (3)$$

где C – запасы углерода, т/га; OrgV – содержание органического вещества, %; h – мощность горизонта, см; $V_{\text{вес}}$ – объемный вес, г/см³; 0,58 – коэффициент пересчета органического вещества на углерод.

Далее запасы в отдельных горизонтах суммировались для получения запасов в расчетном слое. Лесная подстилка при расчете мощности слоев не учитывалась.

За общие запасы углерода экосистемы условно принималась сумма запасов углерода в биомассе древостоя, запасов углерода мертвой древесины (сухостой+валеж), почвы и подстилки.

Оценка статистической значимости разницы проводилась с использованием различных непараметрических и параметрических критериев и способов обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Запасы углерода в биомассе древостоя

Минимальные запасы углерода в биомассе древостоя отмечены в березняке пробной площадки №2 (ПП2), самосевом занявшем залежь в охранной зоне Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (табл. 2). Средний возраст деревьев – менее 10 лет. Согласно таблице временных интервалов возрастных групп насаждений [5] относится к молоднякам I класса возраста. Все деревья имеют диаметр от 1 до 5 см, при этом преобладают экземпляры диаметром 1–2 см – 71 % от общего количества. Благодаря этому, несмотря на значительную густоту леса, объем древесины и запасы углерода в биомассе древостоя невелики (табл. 2). На момент обследования сухостой и валеж в этом лесу отсутствовал.

Таблица 2

Густота древостоя и запасы углерода в биомассе древостоя и мертвой древесине

№ пробной площадки	Преобладающая порода, возраст	Густота древостоя, штук/га	Запасы углерода, т/га		
			в биомассе древостоя	в сухостое	в валеже
ПП1	Сосняк, молодняк II класса возраста	513	50,8	0	0
ПП2	Березняк, молодняк I класса возраста	13136	8,5	0	0
ПП3	Березняк средневозрастной	1764	173,4	0	0
ПП4	Сосняк, молодняк II класса возраста	2279	123,0	0,05	0
ПП5	Осинник, молодняк II класса возраста	4917	45,7	2,43	0,05
ПП6	Дубняк средневозрастной	273	102,6	6,97	0,42

Максимальные запасы углерода в биомассе древостоя обнаружены в березняке близ н.п. Иннополис (ПП3). Средний возраст деревьев около 25 лет. Временные интервалы возрастных групп березняков короткие, для молодняков I и II классов возраста – по 10 лет, продолжительность периода среднего возраста – 30 лет [5]. Таким образом, березняк на залежи в районе н.п. Иннополис (ПП3) относится к средневозрастным. Запасы углерода в биомассе древостоя в 20,5 раз больше, чем в молодняке I класса возраста (табл. 2). Проведенные исследования позволили подтвердить сведения о том, что наиболее значительный прирост биомассы, а, следовательно, и секвестрация углекислого газа, происходит в молодняках и средневозрастных лесах [15]. Густота древостоя в березняке средневозрастном на порядок ниже, чем в молодняке, но средний диаметр деревьев составляет 11 см.

Сухостой и валеж в пределах пробной площадки не обнаружены.

Количество деревьев на единицу площади в 10-летнем березняке согласуется с приводимыми в литературе данными – интервалу от 8000 до 18000 штук/га [16]. При такой густоте со временем количество деревьев на единицу площади уменьшится за счет внутривидовой конкуренции. В случае управляемых лесов рекомендуется прореживание при помощи рубок ухода. Плотность средневозрастного березняка соответствует оптимуму для данной древесной породы, то есть укладывается в интервал от 1600 до 2500 деревьев на гектар [17].

Продолжительность жизни сосны обыкновенной больше, чем березы повислой. Соответственно, временные интервалы возрастных групп продолжительнее и составляют для каждого класса молодняков сосны по 20 лет [5]. Исследованные сосняки относились к одной группе – молодняки II класса возраста (табл.2), однако имели разное происхождение. Сосняк в охранной зоне заповедника (ПП1) – результат зарастания залежи. Средний возраст деревьев 25–30 лет. Сосняк близ станции Новое Аракчино (ПП4) представлял собой искусственные посадки возрастом около 25 лет. Густота древостоя в искусственных посадках в 4 раза, а запасы углерода в биомассе древостоя в 2,5 раза выше, чем в лесу естественного происхождения (табл. 2). То есть проведенные исследования подтверждают сведения о том, что биомасса древесины, так называемых, управляемых лесов выше, чем естественных [11, 18]. По крайней мере, это утверждение верно для молодняков II класса возраста. Однако в искусственных посадках, в отличие от биоценоза естественного происхождения, обнаружен сухостой. Причиной, по-видимому, является недостаток света для отдельных деревьев и более жесткая конкуренция в искусственных посадках.

Возраст осинника (ПП5) в охранной зоне Саралинского участка заповедника около 10–15 лет. Молодые деревья заняли неудобный для обработки склоновый участок. Средний диаметр деревьев – 5–6 см. Несмотря на густоту древостоя, запасы углерода в биомассе сравнительно невелики – занимают промежуточное положение между запасами березняка I возраста и естественного сосняка II возраста. При этом часть запасов углерода, поглощенного растениями, уже переместилась в состав сухостоя и валежа (табл. 2).

Дубняк средневозрастный близ станции Новое Аракчино интересен для исследования, так как представлен одной породой без примесей. Возраст 40–50 лет. К сожалению, подрост дуба обнаружено не было, а усыхающие и мертвые деревья имелись, как и значительное количество пней. Запасы углерода в биомассе древостоя в 1,7 раза ниже, чем у березняка средневозрастного. Это свидетельствует об угнетенном состоянии дубняка и согласуется с литературными данными о состоянии дубняков Татарстана [19]. Одной из причин угнетения и отсутствия подрост дуба, возможно, является периодическая рекреационная нагрузка. Другой причиной являются климатические условия, не очень благоприятные для дубовых лесов: низкие зимние температуры и засушливый летний период [19].

Запасы углерода в почвах

Проведенные исследования позволили установить, что почвы исследованных пробных площадок согласно «Классификации и диагностике почв СССР» (1977) относятся к дерново-подзолистым.

Содержание гумуса в гумусовом горизонте колеблется от 0,4 % в почве под сосняком пробной площадки №4 (ПП4) до 4,1 % под дубняком пробной площадки (ПП6).

Запасы углерода в почвах последовательно возрастали по мере увеличения расчетного слоя (рис. 2).

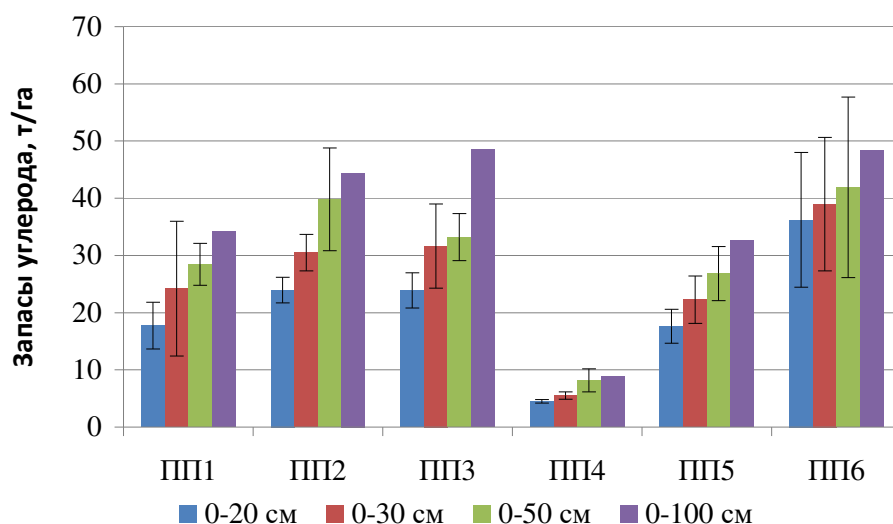


Рис. 2. Запасы органического углерода почв пробных площадок в различных расчетных слоях ($M \pm \sigma$). Условные обозначения см. в таблице 1.

Примерно половина запасов органического углерода исследованных почв сосредоточена в верхнем двадцатисантиметровом слое (табл. 3), что в целом характерно для дерново-подзолистых почв.

Таблица 3

Доля запасов органического углерода в разных слоях
от запаса в метровой толще, %

Площадка Глубина, см	ПП1	ПП2	ПП3	ПП4	ПП5	ПП6
0-20 см	51,9	54,0	49,3	51,2	54,2	74,9
0-30 см	71,0	68,7	65,3	62,9	68,3	80,7
0-50 см	83,4	89,7	68,5	92,9	82,4	86,7

Запасы углерода в слое почвы 0–30 см колеблются от 5,5 т/га до 39,0 т/га (рис. 2). При этом данные, представленные в таблице 3, показывают, что при расчете углерода на рекомендуемый 30-сантиметровый слой почвы остаются не учтенными 19–38 % запасов метровой толщи. Полученные результаты согласуются с обобщенными данными для почв Республики Татарстан [7].

Минимальные запасы углерода обнаружены в почвах под посадками сосны (молодняк II возраста) близ станции Новое Аракчино (ПП4), что, по-видимому, связано с тем, что почвы данной пробной площадки имеют наиболее легкий среди исследованных почв гранулометрический состав – песчаный. Гранулометрический состав остальных почв – от супеси до легкого суглинка.

Сравнение со справочными данными, приведенными в «Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов» (2017) позволило установить, что справочные данные завышены по сравнению с результатами реальных натурных исследований. Так, запасы углерода в почвах под сосняками, относящимися к молоднякам II класса возраста, согласно справочным данным должны составлять 71,5 т/га. Реальные запасы составили 5,5 и 24,2 т/га. Под березняками I класса возраста по справочным данным – 75,8 т/га, по реальным – 30,5 т/га, под осинником – 66,4 т/га и 22,3 т/га, под дубняком 49,0 т/га и 38,9 т/га соответственно. Зато полученные результаты хорошо согласуются с данными, полученными для дерново-подзолистых почв Раифского участка Волжско-Камского заповедника, расположенного на территории Республики Татарстан, где средние запасы углерода в почвах под сосняками составляли 20,3 т/га, под березняками 31,4 т/га [3].

Статистическая обработка результатов с применением Tukey HSD test показала значимую разницу по запасам углерода между почвами под сосняком искусственной посадки (ПП4) и почвами всех остальных исследованных пробных площадок в слоях 0–20 см, 0–30 см, 0–50 см.

Запасы углерода в почве дубняка (ПП6), наоборот, статистически значимо больше запасов в почвах осинника и обоих сосняков в слоях 0–20 см и 0–30 см. Для слоя 0–50 см статистически значимая разница наблюдалась только с почвой сосняка искусственной посадки.

Общие запасы углерода в экосистеме и доля основных компонентов

Проведенные исследования показали, что максимальные запасы углерода сосредоточены в экосистеме березняка средневозрастного (ПП3), минимальные – в березняке-молодняке I возраста (ПП2). Запасы этих двух лесных экосистем отличаются в 4 раза (табл. 4).

Таблица 4

Общие запасы органического углерода в экосистемах пробных площадок

Пробная площадка	ПП1	ПП2	ПП3	ПП4	ПП5	ПП6
Запасы, т/га	80,2	41,4	208,4	134,6	72,3	151,4

Общие запасы углерода в экосистеме сосняка искусственного происхождения (ПП4) в 1,7 раза выше, чем естественного сосняка того же возраста (ПП1).

Запасы в дубняке средневозрастном (ПП6) в 1,4 раза меньше, чем березняке средневозрастном (ПП3). Запасы углерода в экосистеме осинника (ПП5) занимают

промежуточное положение между запасами молодого березняка и сосняка естественного происхождения.

Обнаружена сильная прямая корреляционная зависимость между общими запасами углерода и запасами углерода в биомассе древостоя – коэффициент корреляции равен 0,98. При этом далеко не на всех учетных площадках на долю углерода в биомассе древостоя приходится большая часть запасов углерода экосистемы (рис. 3). Углерод биомассы древостоя составляет от 20,4 % до 91,4 % от общих запасов, доля почв (слой 0–30 см) – от 4,1 % до 73,7 %.



Рис. 3. Структура запасов органического углерода экосистемы, %.

Доля почв уменьшается с возрастом леса. В березняке 10-летнего возраста соотношение запасов углерода в древостое и почве составляет 3:10, в березняке 25-летнего возраста оно изменяется на 11:2 за счет прироста биомассы древостоя.

Полученные результаты согласуются с данными Е. Н. Наквасиной с соавторами для хронорядов залежей, зарастающих лесом, в Архангельской области [10]. При этом подтверждаются данные Д. Г. Замолотчикова с соавторами и том, что прирост запасов углерода в почве идет медленнее, чем в других пулах, и вклад почв в ежегодное поглощение углерода в среднем составляет не более 12 %, в то время как на долю пула фитомассы приходится 77 % [20].

В молодом сосняке естественного происхождения соотношение запасов углерода в системе биомасса древостоя : почва составляет примерно 2:1, в искусственных посадках сосны того же возраста 22:1 (рис.3). Такие отличия обусловлены не только разницей в запасах фитомассы (они отличаются всего в 2,5 раза), но и разницей в содержании углерода в почвах.

В молодом осиннике соотношение запасов углерода в биомассе древостоя и почве такое же, как в молодом сосняке естественного происхождения – 2:1, в дубняке средневозрастном – 5:2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования запасов углерода в экосистемах молодых и средневозрастных лесов разного происхождения на дерново-подзолистых почвах в Республике Татарстан показали, что общие запасы органического углерода в изученных экосистемах могут отличаться в пять раз. Основной вклад в общие запасы вносят биомасса древостоя и почвы. Доля подстилки и мертвой древесины в сумме составляет не более 6,5 %.

Запасы углерода в дерново-подзолистых почвах пробных площадок ниже справочных, но даже в этом случае они составляют 4,1 %–73,7 % от общих запасов углерода экосистемы. Уточнение запасов углерода в почвах залесенных территорий необходимо продолжить. Возможно, следует создать региональные базы данных по запасам углерода почв, учитывающие не только породный и возрастной состав леса, но и таксономическую принадлежность почв.

Углерод биомассы древостоя составляет от 20,4 % до 91,4 % от общих запасов. В естественных березняках при переходе от молодняков I класса возраста к средневозрастным лесам запасы углерода в биомассе древостоя увеличиваются в 20,5 раз. В связи с разной скоростью прироста соотношение запасов углерода в биомассе древостоя и почвах изменяется от 3:10 в молодом березняке до 11:2 в средневозрастном. Полученные результаты показывают, что молодые и средневозрастные леса естественного происхождения активно участвуют в декарбонизации атмосферы, при этом основной сток углерода происходит именно в фитомассу. Запасы углерода в почве более консервативны – увеличиваются медленно, но и сохраняются дольше.

Соотношение запасов углерода в биомассе древостоя и почвах молодого осинника и средневозрастного дубняка близки к значениям для естественных лесов других пород того же возраста.

Запасы углерода в биомассе древостоя искусственной сосновой посадки в 2,5 раза выше, чем сосняке естественного происхождения такого же возраста (25 лет). Однако для научно обоснованных выводов о вкладе естественных и искусственно посаженных лесов в секвестрацию углерода необходимы дополнительные исследования лесов разного возраста и породного состава.

Комплексное изучение запасов углерода во всех компонентах лесных экосистем позволит увеличить точность определения общих запасов и добиться признания на международном уровне учета реального вклада наших лесов в декарбонизацию атмосферы.

Список литературы

1. Честных О. В. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России / О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин // Лесоведение. – 1999. – №2. – С. 13–21.
2. Честных О. В. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России / О. В. Честных, Д. Г. Замолодчиков, А. И. Уткин // Лесоведение. – 2004. – № 4. – С. 30–42.
3. Кулагина В. И. Запасы органического углерода в почвах Раифского участка Волжско-Камского заповедника / В. И. Кулагина, А. Б. Александрова, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, А. А. Андреева, Т. Г. Кольцова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т.9, № 1. – С. 143–158.
4. Кулагина В. И. Запасы углерода, содержание гумуса и азота в почвах Саралинского и Раифского участков Волжско-Камского заповедника / В. И. Кулагина, А. Б. Александрова, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, Л. М. Сунгатуллина, К. А. Гордеева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 145–158.
5. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Утв. Распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 №20-р.
6. Кузнецова А. И. Запасы углерода в песчаных почвах сосновых лесов на западе России / А. И. Кузнецова, Н. В. Лукина, А. В. Горнов, М. В. Горнова, Е. В. Тихонова, В. Э. Смирнов, М. А. Данилова, Д. Н. Тебенькова, Т. Ю. Браславская, В. А. Кузнецов, Ю. Н. Ткаченко, Н. В. Геникова // Почвоведение. – 2020. – № 8. – С. 959–969.
7. Иванов Д. В. Предварительные оценки запасов углерода в почвах лесных экосистем Республики Татарстан / Д. В. Иванов, А. Б. Александрова // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 2 (30). – С. 56–60.
8. Осипов А. Ф. Запасы углерода в почвах лесов Красноярского края: анализ роли типа почвы и древесной породы / А. Ф. Осипов, В. В. Старцев, А. С. Прокушкин, А. А. Дымов // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 1. – С. 67–74.
9. Филипчук А. Н. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, С. В. Федоров, А. М. Бердов, В. Н. Косицын, А. Н. Югов, П. С. Кинигопуло // Лесохозяйственная информация. – 2022. – №1. – С. 5–34.
10. Наквасина Е. Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях / Е. Н. Наквасина, Ю. Н. Шумилова // Известия вузов. Лесной журнал. – 2021. – №1 – С. 46–59.
11. Булаткин Г. А. Оценка влияния управляемых лесов на баланс углекислого газа в атмосфере земли / Г. А. Булаткин // Жизнь Земли. – 2021. – Т.43, №1. – С. 54–66.
12. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году» // Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан: сайт.URL: <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm> (дата обращения: 2.09.2024). Режим доступа: свободный.
13. Чернова О. В. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе/ О. В. Чернова, И. М. Рыжова, М. А. Подвезенная // Почвоведение. – 2020. – №3. – С. 140–150.

14. Soil Organic Carbon: the hidden potential // Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Italy. FAO. 2017. 77 p. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ed16dbf7-b777-4d07-8790-798604fd490a/>
15. Целитан И. А. Структура и рост насаждений, формирующихся на гарях и вырубках в Красноярском Приангарье / И. А. Целитан, В. А. Соколов, И. М. Данилин // Сибирский лесной журнал. – 2021. – №4. – С. 34–47.
16. Dreimanis V. A. Die Bewirtschaftung von Birkenbeständen in Lettland / V. A. Dreimanis // Forst und Holz. – 2002. – Vol. 57, No. 15/16. – P. 465–470.
17. Ветчинникова Л. В. Пространственная и возрастная структура популяций березы повислой и карельской березы / Л. В. Ветчинникова, А. Ф. Титов // Труды Карельского научного центра РАН. – 2021. – №11. – С.22–38.
18. Луганский Н. А. Сравнительная производительность искусственных и естественных древостоев / Н. А. Луганский, О. В. Шипицина // Лесной вестник. – 2008. – №3. – С.50–54.
19. Ульданова Р. А. Продуктивность дубовых насаждений прибрежных Территорий реки Волги / Р. А. Ульданова, А. Т. Сабилов // Российский журнал прикладной экологии. – 2021. – №3 – С.11–22.
20. Замолодчиков Д. Г. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990-2050 гг. Ретроспективная оценка и прогноз / Д. Г. Замолодчиков, В. И. Грабовский, Г. Н. Коровин, М. Л. Гитарский, В. Г. Блинов, В. В. Дмитриев, В. А. Курц // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 10. – С. 73–92.

CARBON STOCKS IN SOILS AND STAND BIOMASS OF YOUNG AND MID-AGED FORESTS OF TATARSTAN

***Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Gordeeva K. A.,
Sungatullina L. M., Rupova E. H.***

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of
Sciences, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru*

Improving the accuracy of estimating greenhouse gas absorption remains an urgent problem. Identification of the ratio of carbon stocks in soils and stand biomass of young and mid-aged forests will allow clarifying the direction of carbon fluxes in forest ecosystems during the development period most productive for atmospheric decarbonization. Increasing the accuracy of carbon stocks in components of forest ecosystems is necessary to recognize the real absorption capacity of Russian forests at the international level. The purpose of this study was to determine the carbon stocks in stand biomass and soils of young and mid-aged forests in the Republic of Tatarstan, as well as their ratio for forests of different species composition and origin. The studies were conducted on 6 sample plots in the most common forest stands aged 10 to 40 years. Organic carbon stocks in soils, stand biomass and other components of forest ecosystems located on sod-podzolic soils were determined. Total carbon stocks, the share of individual components and the ratio of stocks in stand biomass and soils were calculated. It was found that carbon stocks in the biomass of young stands of natural origin ranged from 8.5 to 50.8 t/ha, while in artificial stands they were 123.0 t/ha, and in mid-aged forests – 102.6–173.4 t/ha. Maximum carbon stocks were found in the biomass of stands of mid-aged birch forest, minimum - in young birch forest. Total organic carbon stocks in

the studied ecosystems can vary by up to five times and range from 41.4 t/ha to 208.4 t/ha. The share of stand biomass in the structure of total ecosystem stocks ranged from 20.4 % to 91.4 %. Carbon stocks in sod-podzolic soils of the sample sites varied from 5.5 t/ha to 38.9 t/ha. This was lower than the reference values, but even in this case, soil carbon stocks account for 4.1 % to 73.7 % of the total ecosystem carbon stocks. Clarification of carbon stocks in soils of forested areas should be continued. Perhaps, regional databases on soil carbon stocks should be created, taking into account not only the species and age composition of the forest, but also the taxonomic affiliation of soils. In a 10-year-old birch forest the ratio of carbon stocks in the stand and soil was 3:10, in a 25-year-old birch forest it changed to 11:2, in a young pine forest of natural origin it was about 2:1, in artificial pine plantations of the same age it was 22:1. In natural birch forests, during the transition from young forests of age class I to mid-aged forests, carbon stocks in stand biomass increased by 20.5 times. The results obtained demonstrate the active participation of young and mid-aged natural forests in atmospheric decarbonization, with the main carbon sink at this stage of forest ecosystem development occurring in phytomass. Carbon stocks in soil are more conservative. The ratio of carbon stocks in stand biomass and soils of young aspen and middle-aged oak forests was close to the values for natural forests of other species of the same age. Carbon stocks in stand biomass of artificial pine planting was 2.5 times higher than in natural pine forest of the same age (25 years). Further research is required to draw scientifically grounded conclusions on the contribution of natural and planted forests to carbon sequestration.

Keywords: soil, forest stand, carbon reserves, forest ecosystems, components of biogeocenosis.

References

1. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N. Distribution of organic carbon reserves in soils of Russian forests, *Russian Journal of Forest Science*, **2**, 13 (1999).
2. Chestnykh O. V., Zamolodchikov D. G., Utkin A. I. Reserves of biological carbon and nitrogen in soils of Russian forest fund, *Russian Journal of Forest Science*, **4**, 30 (2004).
3. Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Andreeva A. A., Koltcova T. G. Organic carbon stocks in the soils of the Raifa section of the Volzhsko-Kamsky reserve, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1**, 143 (2023).
4. Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Sungatullina L. M., Gordeeva K. A. Organic carbon stocks, humus and nitrogen contents in the soils of the Saralinsky and Raifa sections of the Volzhsko-Kamsky reserve, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1**, 145 (2024).
5. Guidelines for the quantitative determination of the volume of absorption of greenhouse gases. Approved By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017 №. 20-p.
6. Kuznetsova A. I., Lukina N. V., Gornov A. V., Gornova M. V., Tikhonova E. V., Smirnov V. E., Danilova M. A., Tebenkova D. N., Braslavskaya T. Yu., Kuznetsov V. A., Tkachenko Yu. N., Genikova N. V. Carbon Stock in Sandy Soils of Pine Forests in the West of Russia, *Eurasian Soil Science*, **8**, 1056 (2020).
7. Ivanov D. V., Alexandrova A. B. Preliminary estimations of carbon stocks in soils of forest ecosystems of the Republic of Tatarstan, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **2(30)**, 56 (2022).
8. Osipov A. F., Startsev V. V., Prokushkin A. S., Dymov A. A. Carbon stocks in forest soils of the Krasnoyarsk Region: analysis of soil and tree species role, *Theoretical and Applied Ecology*, **1**, 67 (2023).

9. Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Fedorov S. V., Berdov A. M., Kositsyn V. N., Yugov A. N., Kinigopulo P. S. Analytical Review of the Quantitative and Qualitative Characteristics of Forests in the Russian Federation: Results of the First Cycle of the State Forest Inventory, *Forestry information*, **1**, 5 (2022).
10. Nakvasina E. N., Shumilova Yu. N. Dynamics of Carbon Stocks in the Formation of Forests on Post-Agrogenic Lands, *Russian Forestry Journal*, **1**, 46 (2021).
11. Bulatkin G. A. Influence of the managed forests on CO₂ balance in Earth's atmosphere, *Life of the Earth*, **1**, 54 (2021).
12. State report "On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2023" URL: <https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad-2023.htm>
13. Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. Assessment of organic carbon stocks in forest soils on a regional scale, *Eurasian Soil Science*, **3**, 339 (2020).
14. Soil Organic Carbon: the hidden potential // Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Italy. FAO. 2017. 77 p. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ed16dbf7-b777-4d07-8790-798604fd490a/>
15. Tselitan I. A., Sokolov V. A., Danilin I. M. Structure and growth of the stands, formed in burns and cuttings in Krasnoyarsk Priangar'e, *Siberian journal of forest science*, **4**, 34 (2021).
16. Dreimanis V. A. Die Bewirtschaftung von Birkenbeständen in Lettland, *Forst und Holz*, **15/16**, 465 (2002).
17. Vetchinnikova L. V., Titov A. F. Spatial and structure of silver birch and curly birch population, *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, **11**, 22 (2021).
18. Lougansky N. A., Shipitsyna O. V. Comparative productivity of artificial and natural forest stands, *Forestry Bulletin*, **3**, 50 (2008).
19. Uldanova R. A., Sabirov A. T. Productivity of oak plants in the coastal territories of the Volga River, *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, **3**, 11 (2021).
20. Zamolodchikov D. G., Grabovskii V. I., Korovin G. N., Gitarskii M. L., Blinov V. G., Dmitriev V. V., Kurz W. A. Carbon budget of manager forests in the Russian Federation in 1990-2050: Post-evaluation and forecasting, *Russian Meteorology and Hydrology*, **10**, 701 (2013).