

DOI: 10.31509/2658-607x-202581-159
УДК 630*181:546.26(571.13)

ОСОБЕННОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА В ДРЕВОСТОЯХ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2025

П. Н. Шульпина¹, О. П. Баженова¹, В. В. Каганов²

¹Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина,
Россия, 644008 Омск, Институтская площадь, 1

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов им. А. С. Исаева Российской
академии наук, Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

E-mail: gjkbyrf1008@mail.ru

Поступила в редакцию: 30.09.2024

После рецензирования: 05.02.2025

Принята к печати: 18.02.2025

Актуальность и цели. Современные климатические изменения привлекают пристальное внимание к изучению климаторегулирующих функций лесных экосистем. Особенно значимы в этом отношении хвойные леса, широко распространенные на территории нашей страны и формирующие значительную долю (до 80%) лесных насаждений. Впервые в условиях Омской области изучены запасы углерода в древостоях лиственницы сибирской, произрастающей на территории карбонового полигона (г. Омск) и землях лесного фонда. Цель работы – сравнительная оценка запасов углерода в пулах фитомассы древостоя, лесной подстилки и органического вещества почвы в древостоях лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledebur), произрастающей на разных участках южной лесостепи Омской области. **Материалы и методы.** Статья основана на материалах исследований, проведенных в 2022–2023 гг. в лиственничных древостоях на юге лесостепи в Омской области – на карбоновом полигоне Омского ГАУ (г. Омск) и близ с. Кордон. Запасы углерода в рассматриваемых пулах рассчитывали согласно Методическим указаниям по количественному определению объема поглощения парниковых газов от 2017 г. **Результаты.** Среднемноголетние и текущие климатические показатели в местах проведения

исследований существенно не отличались. Возраст древостоев составляет 63–70 лет. Ключевым фактором различия в условиях произрастания рассматриваемых объектов стали разные типы почв. На территории карбонового полигона почва лугово-черноземная маломощная среднегумусовая тяжелосуглинистая, близ с. Кордон – серая лесная осолодевшая маломощная тяжелосуглинистая. Различия в типах почв обусловили разницу в таксационных показателях лиственных древостоев и разницу запасов углерода в пулах фитомассы и органического вещества почвы. Запасы углерода в фитомассе древостоев варьировали от 47.3 т С га⁻¹ до 100.6 т С га⁻¹. Запас органического углерода в слое 0–50 см на территории полигона составил 122.2 т С га⁻¹, а в почвах близ с. Кордон – 108.1 т С га⁻¹. **Заключение.** Выявленные различия в таксационных показателях одновозрастных лиственных древостоев и запасах углерода в пулах фитомассы древостоя и почвы, обусловлены, главным образом, различием в типах почв. Запас стволовой древесины в древостоях лиственницы близ с. Кордон на серой лесной почве значительно выше, чем на лугово-черноземной почве полигона ОмГАУ. Более высокие запасы почвенного углерода в слое 0–50 см, наоборот, характерны для территории полигона.

Ключевые слова: лиственные древостои, запасы углерода, фитомасса, подстилка, почва, Омская область.

Леса на нашей планете и в жизни человека играют важную роль. Во время своего роста и развития лесные насаждения выполняют ряд экологических, экономических и социальных функций, а также ресурсобеспечивающие, регулирующие, культурные и поддерживающие экосистемные услуги (Баженова и др., 2022). В связи с глобальным изменением климата особого внимания заслуживает климаторегулирующая функция лесов (Экосистемные услуги..., 2016; Басова и др., 2022). Значимость лесов в регулировании содержания парниковых газов атмосферы была признана ключевыми международными соглашениями по сохранению глобального климата: Рамоч-

ной конвенцией ООН об изменении климата (РКИК ООН) и Киотским протоколом (Рамочная конвенция ..., 1992; Киотский протокол ..., 1997).

Информационной и методологической основой оценки биосферной роли лесов является глобальный углеродный цикл (Щепащенко и др., 2008; Щепащенко, Швиденко, 2014). Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют о значительной роли лесных экосистем в этом процессе (Уткин и др., 2003; Усольцев и др., 2015; Замолотчиков и др., 2018, 2020; Малышева и др., 2017; Сергиенко, 2018; Болдвин-Кантелло, 2020; Funk et al., 2019; Chi et al., 2021; Jiao et al., 2021; Li et

al., 2021; Bachofen et al., 2022; Puchi et al., 2024).

Известно, что наибольший вклад в депонирование углерода вносят хвойные породы (лиственница, сосна, ель) (Шимон, 2008). Из хвойных пород для создания углерододепонирующих насаждений наиболее перспективна лиственница, отличающаяся быстрым ростом в молодом возрасте и обладающая долговечной древесиной, устойчивой к гниению. Эти свойства лиственницы позволяют сочетать значительные объемы депонирования углерода и его длительное аккумулялирование (Карасева, 2002).

На территории Российской Федерации исследования в области депонирования углерода в фитомассе лесных насаждений проводились в различных климатических зонах – на Урале, Алтае, Поволжье, Северо-Западе, средней тайге Европейского Северо-Востока и др. В основном исследования проводились в сосновых лесах (Усольцев и др., 2005; Маленко и др., 2009; Курбанов, 2009; Бобкова и др., 2013; Парамонов, Рыбкина, 2017; Григорьев и др., 2019). По данным ранее проведенных исследований установлено, что наибольшие объемы углерода в лесных экосистемах аккумулялируются в пуле фитомассы – до 75%, на

пул мертвой древесины приходится 8%, на пул лесной подстилки – 3%, на почвенный пул в слое 0–30 см – 14% (Замолотчиков и др., 2011).

Другим важнейшим пулом углерода в наземных экосистемах является почва, в которой происходит трансформация отмирающей биомассы и возврат поглощенной в ходе фотосинтеза углекислоты в атмосферу (Щепашенко, 2008). Поэтому при рассмотрении углерододепонирующей способности лесных насаждений стоит уделить наибольшее внимание пулам фитомассы древостоя, а также почвенным условиям произрастания насаждений, напрямую влияющим на их продуктивность.

Омская область обладает высоким потенциалом развития лесного хозяйства, в среднем лесистость в регионе достигает 32.3%. Площадь земель лесного фонда в регионе составляет 5950.6 тыс. га, из них к эксплуатационным лесам относится 81.2%, защитным – 18.8% (Шульпина, Баженова, 2022; Портал Правительства ..., 2024).

По данным Главного управления лесного хозяйства Омской области, лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledebur) произрастает на 2.4 тыс. га, общий запас насаждений составляет 0.36 млн м³.

В возрастной структуре лиственных лесов на долю молодняков I класса возраста приходится 16.7% общей площади лиственных насаждений на территории региона, молодняков II класса возраста – 20.8%, средневозрастных – 20.8%; приспевающих – 8.4%; спелых и перестойных – 33.3% (в том числе перестойных 37.5%) (Шульпина, Баженова, 2023, 2024; Портал Правительства ..., 2024). Предыдущими исследованиями установлена климаторегулирующая роль сосновых насаждений Омской области (Усольцев и др., 2005), но сведения об углероддепонирующей функции и климаторегулирующей роли лиственных насаждений в регионе отсутствуют.

Цель работы – сравнительная оценка запасов углерода в пулах фитомассы древостоя, лесной подстилки и органического вещества почвы в древостоях лиственницы сибирской, произрастающей на разных участках южной лесостепи Омской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнялись в течение двух полевых сезонов 2022–2023 гг. на территории карбонового полигона Омского государственного аграрного

университета (далее – Омский ГАУ), г. Омск, и близ с. Кордон Исилькульского района на удалении 150 км от Омска.

Следует отметить, что почвенный покров области весьма разнообразен, преобладают черноземы, лугово-черноземные, серые лесные, солонцы, солончаки и солоды, торфяные болотные и дерново-подзолистые почвы (Рейнгард, 2009).

Температура воздуха во время проведения исследований по данным ФГБУ «Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии» в разных участках существенно не отличалась и условно равна среднемноголетней температуре воздуха по региону. Годовая динамика осадков в местах проведения исследований имеет некоторые различия. За анализируемый двухлетний период максимум осадков выпал в июле 2022 г. (116 мм) в г. Омске, а минимальное их количество наблюдалось в апреле 2023 г. на обоих исследуемых участках (2 мм). Основное отличие между участками заключалось в типе почвы (табл. 1).

Оценка запасов углерода в лиственных древостоях проводилась по трем пулам: фитомасса древостоя, подстилка, органическое вещество почвы. Расчет запасов углерода в пуле фи-

томассы производился по данным таксационных описаний. Оценка запасов углерода в пуле мертвой древесины (сухостой и валеж) не проводили, поскольку на рассматриваемых объектах его объем незначителен. Определение запасов углерода в пуле почвы и подстилки проводили только в 2023 г.

Таблица 1. Характеристика участков проведения исследований

Показатель	Участок	
	полигон Омского ГАУ	близ с. Кордон
Географические координаты	55°02'024"N, 73°31'470"E	55°06'07"N, 71°17'24"E
Среднеголетняя температура воздуха (январь), °C	-17.7	-17.5
Среднеголетняя температура воздуха (июль), °C	+ 19.4	+ 19.5
Среднеголетняя сумма осадков, мм	381	351
Тип почв	лугово-черноземная маломощная среднегумусовая тяжелосуглинистая	серая лесная осолодевшая маломощная тяжелосуглинистая

Таксация лесных древостоев проводилась измерительно-перечислительным методом (Анучин, 1982) с использованием следующих инструментов: мерной вилки для определения диаметра

ствола на высоте груди, возрастного бурава для определения возраста древостоев, высотомера Suunto (Нагимов и др., 2019). Запас древостоя рассчитывали по формуле:

$$M = \text{SUM}G_{\text{ср}} \times H_{\text{ср}} \times F_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где M – запас древостоя, м³га;

$\text{SUM}G_{\text{ср}}$ – средняя сумма площадей сечения, м²;

$H_{\text{ср}}$ – средняя высота, м;

$F_{\text{ср}}$ – среднее видовое число (Общесоюзные нормативы ..., 1989).

Содержание запаса углерода в фитомассе рассчитывали, исходя из ряда показателей. На основании показателя

суммы площадей сечения рассчитали средний диаметр и построили график высот для расчета средней высоты. По

показателям средней высоты в таблице В. В. Загреева (Общесоюзные нормативы ..., 1989) рассчитали видовые числа. Видовые числа для пробных площадей на территории карбонового полигона Омского ГАУ – 0.50 и 0.52; близ с. Кордон – 0.478. Для расчета запаса углерода в фитомассе древостоя по объемному запасу древесины лесного насаждения использовали конверсионный коэффициент $0.371 \text{ (т С м}^{-3}\text{)}$ (Методические указания ..., 2017).

Запасы депонированного углерода в почве и подстилке листовенных древостоев рассчитывали согласно Методическим указаниям по количественному определению объема поглощения парниковых газов (2017).

Лесную подстилку собирали на каждой пробной площади в 5-кратной повторности с площадок 50×50 см. Образцы подстилки высушивали при температуре 100°C и взвешивали. Для

расчета запаса углерода в подстилке вес абсолютно сухой пробы умножали на среднее содержание углерода (0.4) (Методические указания ..., 2017).

Для детального изучения морфогенетических признаков почв на изучаемых участках в наиболее типичных местах было заложено по одному почвенному разрезу. Отбор почвенных проб производили в соответствии с ГОСТ (17.4.3.01–2017). Классификацию почв проводили согласно (Егоров и др., 1977).

Содержание органического вещества в смешанном почвенном образце определяли в аккредитованной лаборатории анализа почв и агрохимикатов ФГБУ «Центр агрохимической службы «Омский», согласно ГОСТу 26213–2021.

Содержание углерода в органическом веществе почв принималось равным 58%. Пересчет на запас углерода почвы производится с учетом объемной массы почвы (г см^{-3}) по формуле 2.

$$C_{\text{почва}} = \text{Орг}\% \times H \times \text{Об. масса} \times 58/100, \quad (2)$$

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

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

H – глубина отбора проб почвы, см;

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

58/100 – коэффициент для перевода в единицы углерода (Методические указания ..., 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таксационные показатели лиственницы на разных пробных площадях существенно отличались (табл. 2).

На исследуемых участках произрастает разное количество деревьев лиственницы с диаметрами на высоте 1.3 м от 8 до 40 см. Наиболее распространены

деревья диаметром 12-24 см. Однако средний диаметр деревьев на пробной площади близ с. Кордон значительно больше, так как здесь преобладают деревья диаметром 24–32 см. Высота изучаемых деревьев лиственницы варьировала от 10 до 23 м, причем на участке карбонового полигона – от 10 до 19 м, а близ с. Кордон – от 12 до 23 м.

Таблица 2. Таксационные показатели лиственницы сибирской на пробных площадях

Показатель, ед. измерения	№ пробной площади		
	1	2	3
Возраст (А), лет	65	70	63
Средний диаметр (D_{cp}), см	20	27	20.5
Средняя высота (H_{cp}), м	15	18	13.6
Сумма площадей сечения ($\sum G$), м ² га	17.0	31.8	21.4
Запас стволовой древесины (М), м ³ га	127.5	271.15	151.34
Густота, шт. га	514	556	650
Полнота	0.5	0.9	0.7
Площадь, га	0.25	0.25	0.25
Формула древостоя	10Л	10Л	10Л

Примечания: пробные площади № 1 и № 3 – полигон Омского ГАУ;
пробная площадь № 2 – близ с. Кордон;
пробные площади № 1, 2 заложены в 2022 г., № 3 – в 2023 г.

Запас стволовой древесины лиственницы, произрастающей близ с. Кордон, в 2 раза превысил запас на пробных площадях на территории карбонового полигона Омского ГАУ (табл. 2).

Запасы углерода в фитомассе древостоя на разных исследуемых участках существенно различаются: близ с. Кордон они в 2 раза выше, чем на территории карбонового полигона (табл. 3).

Таблица 3. Запас углерода в фитомассе и подстилке лиственных древостоев

Запас углерода, т С га ⁻¹	№ пробной площади		
	1	2	3
Фитомасса	47.3	100.6	56.2
Подстилка	–	–	5.3±0.36

Примечания: пробные площади № 1 и № 3 – полигон Омского ГАУ;
пробная площадь № 2 – близ с. Кордон;
пробные площади № 1, 2 заложены в 2022 г., № 3 – в 2023 г.
«–» измерения не проводили.

Выявленные различия запасов углерода в фитомассе древостоя напрямую связаны с разными значениями запаса стволовой древесины (табл. 2).

Содержание органического веществ-

ва в почве на территории полигона варьировало от 6.5% в верхнем слое (0–10 см) до 1.8% (40–50 см), в почве близ с. Кордон – от 5.1% (10–20 см) до 2.8% (30–40 см) (табл. 4).

Таблица 4. Запасы органического углерода в слое почвы 0–50 см, 2023 г.

Слой, см	Запас органического углерода в почве, т С га ⁻¹	
	полигон Омского ГАУ	близ с. Кордон
0–10	36.2	26.4
10–20	31.0	25.7
20–30	23.7	21.0
30–40	18.6	15.4
40–50	12.7	19.6
В слое 0–50 см:	122.2	108.1

Почва на территории карбонового полигона имеет больший запас органического углерода в почвенном слое (0–50 см), чем близ с. Кордон, превышая его на 14.1 т С га⁻¹.

На территории карбонового полигона в слое 0–50 см лугово-черноземной маломощной среднегумусовой тяжело-

суглинистой почвы наблюдается уменьшение запаса углерода в 2.85 раза от 36.2 т С га⁻¹ в слое 0–10 см до 12.7 т С га⁻¹ в слое 40–50 см. Близ с. Кордон снижение запасов углерода в слое от 0–10 до 40–50 см серой лесной осолоделой маломощной тяжелосуглинистой почвы составляет 6.8 т С га⁻¹ (25.76%). Снижение

запасов углерода в пуле почвы может быть обусловлено, прежде всего, уменьшением органического вещества в исследованном почвенном горизонте.

Общий запас влаги в лугово-черноземной маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почве в слое 0–50 см на территории полигона Омского ГАУ составлял 68.80 мм, в серой лесной осолоделой маломощной тяжелосуглинистой почве близ с. Кордон – 81.18 мм. Средняя влажность в слое 0–50 см на территории полигона Омского ГАУ составляла 12.10%, близ с. Кордон – 16.39%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований впервые установлено, что условно одновозрастные древостои лиственницы сибирской, произрастающие в одной природно-климатической зоне Омской области, но на разных типах почв, имеют различные таксационные показатели и существенно различаются по запасам углерода в пулах фитомассы и почвы.

Так, запасы углерода в фитомассе 63–65-летних лиственничных древостоев на территории полигона Омского ГАУ, произрастающих на лугово-черно-

земной маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почве, колебались в пределах 47.3–56.2 т С га⁻¹. Близ с. Кордон запасы углерода в фитомассе 70-летних лиственничных древостоев, произрастающих на серой лесной осолоделой маломощной тяжелосуглинистой почве, составили 100.6 т С га⁻¹. Значительный размах колебаний в последнем случае, вероятно, обусловлен таксационной спецификой древостоя на этом участке. Запасы углерода в фитомассе 70-летних лиственничных древостоев на серой лесной почве в 2 раза превосходят таковые показатели 63–65-летних древостоев на лугово-черноземной почве.

Выявленные различия в таксационных показателях одновозрастных лиственничных древостоев и запасах углерода в пулах фитомассы древостоя и почвы обусловлены, главным образом, различием в почвенных условиях. Запас стволовой древесины в древостоях лиственницы на лугово-черноземной почве полигона Омского ГАУ существенно ниже, чем на серой лесной почве близ с. Кордон.

Более высокие запасы почвенного углерода в слое 0–50 см, наоборот, характерны для лугово-черноземной мало-

мощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы территории полигона.

Таким образом, на продуктивность лиственничных древостоев, произрастающих в южной лесостепи Омской области, и на выполнение ими углерододепонирующей функции напрямую влияют условия произрастания, в первую очередь – почвенный покров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анучин Н. П. Лесная таксация: Учебник для вузов. 5-е изд., доп. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.

Баженова О. П., Костерова В. В., Шульпина П. Н. Экосистемные услуги лесов Омской области // Экологические чтения – 2022. XIII Национальная научно-практическая конференция (с международным участием). Омск, 2022. С. 48–53.

Басова Е. В., Лукина Н. В., Кузнецова А. И., Горнов А. В., Шевченко Н. Е., ... & Луговая Д. Л. Качество древесного опада как информативный индикатор функциональной классификации лесов // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 3. С. 1–21. DOI: 10.31509/2658-607x-202252-113

Бобкова К. С., Осипов А. Ф., Галенко Э. П. Пул углерода фитомассы древостоев сосняков чернично-сфагновых средней тайги Европейского Северо-Востока // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31. № 1-2. С. 42–45.

Болдвин-Кантелло В. Леса как центр действий по предотвращению глобального изменения климата // Устойчивое лесопользование. 2020. № 3 (62). С. 25–26.

ГОСТ 17.4.3.01–2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб» Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 июня 2018 г. № 302-ст. 8 с.

ГОСТ 26213–2021 Почвы. Методы определения органического вещества». Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2021 г. N 892-ст.12 с.

Григорьев А., Щеголев А., Луговая Д. Глобальное изменение климата и адаптация к нему лесного комплекса Северо-Западного федерального округа России: использование опыта Швеции и Финляндии //

- Устойчивое лесопользование. 2019. № 2 (58). С. 28–33.
- Егоров В. В., Иванова Е. Н., Фридланд В. М.* Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. 225 с.
- Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н.* Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // *Лесоведение*. 2011. № 6. С. 16–40.
- Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Честных О. В.* Динамика баланса углерода в лесах Федеральных округов Российской Федерации // *Вопросы лесной науки*. 2018. Т. 1. № 1. С. 1–24. DOI:10.31509/2658-607x-2018-1-1-1-24
- Замолодчиков Д. Г., Каганов В. В., Липка О. Н.* Потенциальное поглощение углерода фитомассой древостоя при восстановлении тугайных лесов // *Лесоведение*. 2020. № 2. С. 115–126.
- Карасева М. А.* Продуктивность и углерододепонирующие функции листовенничных фитоценозов в Среднем Поволжье // *Лесной журнал*. 2002. № 4. С. 22–27.
- Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. 1997. URL: <https://base.garant.ru/12131392/> (дата обращения: 30.03.2024).
- Курбанов Э. А.* Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья // *Лесной журнал*. 2009. № 2. С. 7–15.
- Маленко А. А., Усольцев В. А.* Разногустотные культуры сосны в ленточных борах Алтайского края: фитомасса и ошибки ее определения // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2009. № 8 (58). С. 48–54.
- Малышева Н. В., Моисеев Б. Н., Филипчук А. Н., Золина Т. А.* Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода // *Лесной вестник*. 2017. Т. 21. № 1. С. 4–13.
- Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов: утверждены распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 N 20-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (дата обращения: 11.02.2024).

- Нагимов З. Я., Шевелина И. В., Коростелев И. Ф.* Приборы, инструменты и устройства для таксации леса: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотех. ун-та, 2019. 214 с.
- Общесоюзные нормативы для таксации лесов.* Утв. Приказом Госкомлеса СССР от 28 февраля 1989 г. N 38. 250 с.
- Парамонов Е., Рыбкина И.* Ленточные боры Алтая в период потепления климата // Устойчивое лесопользование. 2017. № 3 (51). С. 33–39.
- Портал Правительства Омской области.* Главное управление лесного хозяйства Омской области. URL: clck.ru/3НТУЕМ (дата обращения: 11.02.2024).
- Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата.* URL: <https://base.garant.ru/2133066/> (дата обращения: 11.04.2024).
- Рейнгард Я. Р.* Деградация почв экосистем юга Западной Сибири: монография. Омский гос. аграр. ун-т, 2009. 634 с.
- Сергиенко В. Г.* Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2018. № 1. С. 74–90.
- Усольцев В. А., Гаврилин Д. С., Маленко А. А.* Структура фитомассы лиственницы (*Larix L.*) в трансконтинентальных градиентах Евразии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 9 (131). С. 66–69.
- Усольцев В. А., Ненашев Н. С., Белоусов Е. В., Залесов С. В., Терин А. А., Терехов Г. Г., Терентьев В. В.* Сравнительный анализ надземной фитомассы культур сосны Урала и Западной Сибири // Лесной журнал. 2005. № 3. 34–42.
- Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В.* Органический углерод лиственных лесов России // Хвойные бореальные зоны. 2003. Т. 21. № 1. С. 66–76.
- Шимон Т. Н.* Оценка влияния биотических и антропогенных факторов лесов России на бюджет углерода: автореф. дис. канд. биол. наук (спец. 03.00.16). Москва. 2008. 26 с.
- Шульпина П. Н., Баженова О. П.* Возрастная структура лиственнич-

- ных и березовых лесов Омской области // Экологические чтения – 2024. Материалы XV Национальной научно-практической конференции (с международным участием). Омск, 2024. С. 750–754.
- Шульпина П. Н., Баженова О. П. К вопросу об углерододепонирующей способности лесных насаждений на примере Омской области // Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности. Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой Всемирному дню охраны окружающей среды. Воронеж, 2022. С. 50–57.
- Шульпина П. Н., Баженова О. П. Таксационные показатели лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledebur) из разных участков южной лесостепи Омской области // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты. Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, 2023. С. 281–285.
- Щепашенко Д. Г., Швиденко А. З. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
- Щепашенко Д. Г., Швиденко А. З., Шалаев В. С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России: монография. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 296 с.
- Экосистемные услуги России: прототип национального доклада. Том 1. Услуги наземных экосистем / Ред.-сост.: Е. Н. Букварёва, Д. Г. Замолотчиков. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.
- Bachofen C., Hülsmann L., Revill A., Buchmann N., D'Odorico P. Accounting for foliar gradients in V_{Cmax} and J_{max} improves estimates of net CO_2 exchange of forests // Agricultural and Forest Meteorology. 2022. Vol. 314. Article 108771.
- Chi J., Zhao P., Klosterhalfen A., Jocher G., Kljun N., Nilsson M. B., Peichl M. Forest floor fluxes drive differences in the carbon balance of contrasting boreal forest stands // Agricultural and Forest Meteorology. 2021. Vol. 306. Article number 108454. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108454

- Funk J. M., Aguilar-Amuchastegui N., Baldwin-Cantello W., Busch J., Chuvasov E., Evans T., ... & van der Hoff R. J.* Securing the climate benefits of stable forests // *Climate Policy*. 2019. Vol. 19. No. 7. P. 845–860. DOI: 10.1080/14693062.2019.1598838
- Jiao L., Chen K., Liu X., Qi C., Xue R.* Comparison of the response stability of Siberian larch to climate change in the Altai and Tianshan // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 128. Article number 107823. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107823
- Li X., Wang Y. P., Lu X., Yan J.* Diagnosing the impacts of climate extremes on the interannual variations of carbon fluxes of a subtropical evergreen mixed forest // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. Vol. 307. Article number 108507. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108507
- Puchi P. F., Khomik M., Helgason W., Arain M. A., Castagneri D.* Different climate conditions drive variations in gross primary productivity and woody biomass accumulation in a temperate and a boreal conifer forest in Canada // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2024. Vol. 355. Article number 110125. DOI: 10.1016/j.agrformet.2024.110125
- REFERENCES**
- Anuchin N. P., *Lesnaja taksacija (Forest taxation): Uchebnik dlja vuzov*, 5-e izd., dop. M.: Lesn. prom-st', 1982, 552 p.
- Bachofen C., Hülsmann L., Reville A., Buchmann N., D'Odorico P., Accounting for foliar gradients in V_{cmax} and J_{max} improves estimates of net CO₂ exchange of forests, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2022, Vol. 314, Article 108771.
- Basova E. V., Lukina N. V., Kuznecova A. I., Gornov A. V., Shevchenko N. E., ... & Lugovaya D. L., Kachestvo drevesnogo opada kak informativnyj indikator funkcional'noj klassifikacii lesov (Quality of wood litter as an informative indicator of functional classification of forests), *Voprosy lesnoj nauki*, 2022, Vol. 5, No 3, pp. 1–21, DOI: 10.31509/2658-607x-202252-113
- Bazhenova O. P., Kosterova V. V., Shul'pina P. N., Jekosistemnye uslugi lesov Omskoj oblasti (Ecosystem services of forests of Omsk region), *Jekologicheskie chtenija – 2022 (Ecological*

- readings – 2022*), XIII Nacional'naja nauchno-prakticheskaja konferencija (s mezhdunarodnym uchastiem), Omsk, 2022, pp. 48–53.
- Bobkova K. S., Osipov A. F., Galenko Je. P., Pul ugleroda fitomassy drevostoev sosnjakov chernichno-sfagnovyh srednej tajgi Evropejskogo Severo-Vostoka (Carbon pool of phytomass of pine forest stands of blueberry-sphagnum middle taiga of the European North-East), *Hvojnye boreal'nye zony*, 2013, Vol. 31, No 1-2, pp. 42–45.
- Boldvin-Kantello V., Lesa kak centr dejstvij po predotvrashheniyu global'nogo izmeneniya klimata (Forests as a center of action to prevent global climate change), *Ustojchivoe lesopol'zovanie*, 2020, No 3 (62), pp. 25–26.
- Chi J., Zhao P., Klosterhalfen A., Jocher G., Kljun N., Nilsson M. B., Peichl M., Forest floor fluxes drive differences in the carbon balance of contrasting boreal forest stands, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, Vol. 306, Article number 108454, DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108454
- Egorov V. V., Ivanova E. N., Fridland V. M., *Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of the USSR), M.: Kolos, 1977, 225 p.
- E'kosistemnye usluzi Rossii: Prototip nacional'nogo doklada*, Vol. 1, Usluzi nazemnyx e'kosistem (Ecosystem services of Russia: Prototype of a national report. Vol. 1, Terrestrial Ecosystem Services), E. N. Bukvaryova, D. G. Zamolodchikov (eds.), Moscow: Izd-vo Centra ohrany dikoj prirody, 2016, 148 p.
- Funk J. M., Aguilar-Amuchastegui N., Baldwin-Cantello W., Busch J., Chuvason E., Evans T., ... & van der Hoff R. J., Securing the climate benefits of stable forests, *Climate Policy*, 2019, Vol. 19, No 7, pp. 845–860, DOI: 10.1080/14693062.2019.1598838
- GOST 17.4.3.01–2017 «Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob» («Nature protection. Soils. General requirements for sampling», *Prikaz Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii* (Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology) ot 1 iyunya 2018 g., № 302-st, 8 p.
- GOST 26213–2021 «Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva» («Soils. Methods for Determining Organic Matter»), *Prikaz Federal'nogo*

- agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii* (Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology) ot 31 avgusta 2021 g., N 892-st, 12 p.
- Grigor'ev A., Shhegolev A., Lugovaja D., Global'noe izmenenie klimata i adaptacija k nemu lesnogo kompleksa Severo-Zapadnogo federal'nogo okrug Rossii: ispol'zovanie opyta Shvecii i Finljandii (Global climate change and adaptation of the forest complex of the Northwestern Federal District of Russia to it: using the experience of Sweden and Finland), *Ustojchivoe lesopol'zovanie*, 2019, No 2 (58), pp. 28–33.
- Jiao L., Chen K., Liu X., Qi C., Xue R., Comparison of the response stability of Siberian larch to climate change in the Altai and Tianshan, *Ecological Indicators*, 2021, Vol. 128, Article 107823, DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107823
- Karaseva M. A., Produktivnost' i uglerododeponiruyushhie funkcii listvennichnykh fitocenzov v Srednem Povolzh'e (Productivity and carbon sequestration functions of larch phyto-cenoses in the Middle Volga region), *Lesnoj zhurnal*, 2002, No 4, pp. 22–27.
- Kiotskij protokol k Ramochnoj konvencii Organizacii Obedinennykh Nacij ob izmenenii klimata (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change), URL: <https://base.garant.ru/12131392/> (2024, 30 March).
- Kurbanov Je. A., Modelirovanie bjudzheta ugleroda lesnykh nasazhdenij na primere sosnjakov Povolzh'ja (Modeling the carbon budget of forest stands using the example of pine forests in the Volga region), *Lesnoj zhurnal*, 2009, No 2, pp. 7–15.
- Li X., Wang Y. P., Lu X., Yan J., Diagnosing the impacts of climate extremes on the interannual variations of carbon fluxes of a subtropical evergreen mixed forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 307, Article 108507, DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108507
- Malenko A. A., Usol'cev V. A., Raznogustotnye kul'tury sosny v lentochnykh borakh Altajskogo kraja: fitomassa i oshibki ee opredelenija (Pine trees of different sizes in ribbon pine forests of the Altai Territory: phyto-mass and errors in its determination), *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, No 8 (58), pp. 48–54.

- Malysheva N. V., Moiseev B. N., Filipchuk A. N., Zolina T. A., *Metody ocenki balansa ugleroda v lesnyx e'kosistemax i vozmozhnosti ix ispol'zovaniya dlya Raschetov godichnogo deponirovaniya ugleroda* (Methods for assessing the carbon balance in forest ecosystems and the possibility of using them to calculate annual carbon sequestration), *Lesnoj vestnik*, 2017, Vol. 21, No 1, pp. 4–13.
- Metodicheskie ukazaniya po kolichestvennomu opredeleniyu ob"ema poglosheniya parnikovyx gazov* (Guidelines for quantifying the volume of greenhouse gas absorption), 2017, No 20-r, available at: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (2024, 11 February).
- Nagimov Z. Ya., Shevelina I. V., Korostelyov I. F., *Pribory, instrumenty i ustroystva dlya taksacii lesa* (Instruments, instruments and devices for forest taxation), Ekaterinburg, 2019, 214 p.
- Obshhesojuznye normativy dlja taksacii lesov (All-Union standards for forest taxation), *Prikaz Goskomlesa SSSR* (Order of the State Forestry Committee of the USSR) ot 28 fevralja 1989 g, No 38, 250 p.
- Paramonov E., Rybkina I., *Lentochnye bory Altaja v period poteplenija klimata* (Altai ribbon pine forests during the period of global warming) *Ustojchivoe lesopol'zovanie*, 2017, No 3 (51), pp. 33–39.
- Portal Pravitel'stva Omskoj oblasti* (Portal of the Government of Omsk Region), available at: clck.ru/3HTYEM (2024, 11 February).
- Puchi P. F., Khomik M., Helgason W., Arain M. A., Castagneri D., Different climate conditions drive variations in gross primary productivity and woody biomass accumulation in a temperate and a boreal conifer forest in Canada, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2024, Vol. 355, Article 110125, DOI: 10.1016/j.agrformet.2024.110125
- Ramochnaja konvencija Organizacii Ob'edinyennyh Nacij ob izmenenii klimata* (United Nations Framework Convention on Climate Change), URL: <https://base.garant.ru/2133066/> (2024, 11 April)
- Rejngard Ja. R., *Degradacija pochv jekosistem juga Zapadnoj Sibiri* (Soil degradation of ecosystems in the south of Western Siberia), *Omskij gos. agrar. un-t*, 2009, 634 p.

- Sergienko V. G., Vliyanie ozhidaemogo izmeneniya klimata na balans ugleroda i produktivnost' e'kosistem v lesnom sektore Rossijskoj Federacii (Impact of expected climate change on carbon balance and ecosystem productivity in the forest sector of the Russian Federation), *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyajstva*, 2018, No 1, pp. 74–90.
- Shhepashhenko D. G., Shvidenko A. Z., Shalaev V. S., *Biologicheskaya produktivnost' i byudzhety ugleroda listvennichnyx lesov Severo-Vostoka Rossii* (Biological productivity and carbon budget of larch forests in Northeast Russia), Moscow: GOU VPO MGUL, 2008, 296 p.
- Shhepashhenko D. G., Shvidenko A. Z., Uglernodnyj byudzhety lesov Rossii (Carbon budget of Russian forests), *Sibirskij lesnoj zhurna*, 2014, No 1, pp. 69–92.
- Shimon T. N., *Ocenka vliyaniya bioticheskix i antropogennyx faktorov lesov Rossii na byudzhety ugleroda: avtoref. dis. kand. biol. nauk* (Assessment of the influence of biotic and anthropogenic factors of Russian forests on the carbon budget), Moscow, 2008, 26 p.
- Shul'pina P. N., Bazhenova O. P., K voprosu ob uglernododeponirujushhej sposobnosti lesnyh nasazhdenij na primere Omskoj oblasti (On the issue of carbon sequestration capacity of forest plantations using the example of the Omsk region), *Sintez nauki i obrazovaniya v reshenii jekologicheskix problem sovremennosti (Synthesis of science and education in solving environmental problems of our time)*, Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhjonnoj Vsemirnomu dnyu ohrany okruzhajushhej sredy, Voronezh, 2022, pp. 50–57.
- Shul'pina P. N., Bazhenova O. P., Taksacionnye pokazateli listvennicy sibirskoj (*Larix sibirica* Ledebur) iz raznyx uchastkov juzhnoj lesostepi Omskoj oblasti (Taxation indices of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledebur) from different areas of the southern forest-steppe of the Omsk region), *Jekologija i prirodnopol'zovanie: tendencii, modeli, prognozy, prikladnye aspekty (Ecology and nature management: trends, models, forecasts, applied aspects)*,

- Materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Rjazan', 2023, pp. 281–285.
- Shul'pina P. N., Bazhenova O. P., Vozrastnaja struktura listvennichnyh i berezovyh lesov Omskoj oblasti (Age structure of larch and birch forests of the Omsk region), *Jekologicheskie chtenija – 2024 (Ecological readings – 2024)*, Materialy XV Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem), Omsk, 2024, pp. 750–754.
- Usol'cev V. A., Gavrilin D. S., Malenko A. A., Struktura fitomassy listvennicy (Larux L.) v transkontinental'nyx gradientax Evrazii (Structure of larch (Larix L.) phytomass in transcontinental gradients of Eurasia), *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No 9 (131), pp. 66–69.
- Usol'cev V. A., Nenashev N. S., Belousov E. V., Zalesov S. V., Terin A. A., Terekhov G.G., Terent'ev V. V., Sravnitel'nyj analiz nadzemnoj fitomassy kul'tur sosny Urala i Zapadnoj Sibiri (Comparative analysis of aboveground phytomass of pine crops in the Urals and Western Siberia), *Lesnoj zhurnal*, 2005, No 3, pp. 34–42.
- Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnyx O. V., Organicheskiy uglerod listvennichnyh lesov Rossii (Organic carbon of larch forests in Russia), *Xvojnye boreal'nye zony*, 2003, Vol. 21., No 1, pp. 66–76.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Chestnyx O. V., Dinamika balansa ugleroda v lesax Federal'nyx okrugov Rossijskoj Federacii (Dynamics of carbon balance in forests of the Federal districts of the Russian Federation), *Voprosy lesnoj nauki*, 2018, Vol 1 (1), pp. 1–24.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Kravcev G. N., Dinamika bjudzhetnogo ugleroda lesov Rossii za dva poslednih desjatiletija (Dynamics of Russia's financial balance in two directions), *Lesovedenie*, 2011, No 6, pp. 16–40.
- Zamolodchikov D. G., Kaganov V. V., Lipka O. N., Potencial'noe pogloshhenie ugleroda fitomassoju drevostoja pri vosstanovlenii tugajnyh lesov (Potential carbon absorption by stand phytomass during restoration of taiga forests), *Lesovedenie*, 2020, No 2, pp. 115–126.

FEATURES OF CARBON SEQUESTRATION IN SIBERIAN LARCH FOREST STANDS IN THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF THE OMSK REGION

P. N. Shulpina¹, O. P. Bazhenova¹, V. V. Kaganov²

¹ Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Russia, 644008 Omsk, Institutskaya Square, 1

² Isaev Centre for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences, Russia, 117997 Moscow, st. Profsoyuznaya, 84/32

E-mail: gjkbyrf1008@mail.ru

Received: 30.09.2024

Revised: 05.02.2025

Accepted: 18.02.2025

Relevance and objectives. Modern climate change attracts close attention to the study of climate-regulating functions of forest ecosystems. Of particular importance in this regard are coniferous forests, which are widespread in our country and form a significant share (up to 80%) of forest plantations. For the first time in the conditions of the Omsk region, carbon reserves in Siberian larch stands growing on the territory of the carbon polygon (Omsk) and forest fund lands were studied. The purpose of the work is a comparative assessment of carbon reserves in the pools of phytomass of the stand, forest litter and soil organic matter in Siberian larch stands (*Larix sibirica* Ledebur) growing in different areas of the southern forest-steppe of the Omsk region. **Materials and methods.** The article is based on the research materials conducted in 2022–2023 on the territory of larch stands in various areas of the southern forest-steppe of the Omsk region – at the carbon testing ground of Omsk State Agrarian University (Omsk) and near the village of Kordon. Two test plots were laid out on each site. Carbon stocks in the pools under consideration were calculated according to the Methodological Guidelines for the Quantitative Determination of the Volume of Greenhouse Gas Absorption from 2017. **Results.** The average long-term and current climatic parameters in the study areas did not differ significantly. The age of the forest stands is 63–70 years. The key factor in the difference in growing conditions between the objects under consideration was the difference in soil type. On the territory of the carbon testing site, the soil is meadow-chnozem, shallow, low-humus, heavy loamy, while near the village of Kordon it is gray forest solodized, shallow, heavy loamy. Differences in soil types determined the difference in the taxation parameters of the larch stands and the difference in carbon reserves in the pools of phytomass and soil organic matter. Carbon reserves in the phytomass of forest stands varied from 47.3 t C ha⁻¹ to 100.6 t C ha⁻¹. The organic carbon reserve in the 0–50 cm layer on

the territory of the testing site was 122.2 t C ha⁻¹, while in the soils near the village of Kordon it was 118.8 t C ha⁻¹. Kordon – 108.1 t C ha⁻¹. **Conclusion.** The revealed differences in the taxation indices of even-aged larch stands and carbon reserves in the pools of stand and soil phytomass are mainly due to differences in soil types. The stock of stem wood in larch stands near the village of Kordon on gray forest soil is significantly higher than on meadow-chernozem soil of the Omsk State Agrarian University testing ground. Higher reserves of soil carbon in the 0–50 cm layer, on the contrary, are characteristic of the testing ground territory.

Keywords: *larch stands, carbon reserves, phytomass, litter, soil, Omsk region*

Рецензент: канд. с.-х. н., ведущий научный сотрудник Мошников С. А.