

DOI: 10.31509/2658-607x-202474-156
УДК 630*52+630*58

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ И КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКАХ В СТАРОВОЗРАСТНЫХ СОСНЯКАХ ЧЕРНИЧНЫХ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ»

© 2024 А. Н. Пеккоев, С. А. Мошников, И. В. Ромашкин, Д. В. Тесля

*Институт леса КарНЦ РАН,
Россия, Республика Карелия, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11*

*E-mail: moshniks@mail.ru

Поступила в редакцию 01.10.2024
После рецензирования: 06.11.2024
Принята к печати: 19.11.2024

В статье представлены результаты исследований на постоянных пробных площадях полигона интенсивного уровня «Кивач» (Республика Карелия, среднетаежная подзона), заложенных в 2023 г. в 180-190-летних сосняках черничного типа леса; почвы представлены песчаными подзолами. Приведены расчетные данные по фитомассе и запасам углерода (С) в древесном ярусе, подросте, подлеске и крупных древесных остатках (КДО). Выполнен сравнительный анализ полученных данных о фитомассе насаждения и запасе С, сосредоточенного в ней, с применением четырех различных методов. Фитомасса сосняков, рассчитанная на основе региональных данных, варьировала от 171 до 395 т га⁻¹, составляя в среднем 254.2 т га⁻¹, а запас С – от 85 до 197 т С га⁻¹ при среднем значении 126.5 т С га⁻¹. Полученные результаты оказались на 7–10% ниже в сравнении с данными, вычисленными с использованием других методов, что свидетельствует о необходимости дальнейших исследований. Подрост в исследованных насаждениях представлен сосной, елью, иногда в сочетании с березой. Подлесок немногочисленный и представлен рябиной обыкновенной и ольхой серой. Участие подроста и подлеска в формировании пула С фитомассы составляет в среднем 0.57% при значениях запаса С в диапазоне от 0.2 до 2.3 т С га⁻¹. Запасы КДО в исследованных сосняках варьировали в диапазоне от 9 до 60 м³ га⁻¹ и в среднем составляют 40 м³ га⁻¹. Наибольшая доля КДО представлена валежем и сухостоем сосны

2-го класса разложения. Средние запасы С в КДО составили 9.2 т С га⁻¹ с диапазоном варьирования от 1.7 до 14.3 т С га⁻¹. Исследование проведено сотрудниками Института леса КарНЦ РАН по теме «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации; обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».

Ключевые слова: ВИП ГЗ, полигон «Кивач», сосновые леса, фитомасса, углерод, детрит, подрост, подлесок

Влияние выбросов парниковых газов (диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и др.) на климат планеты, в том числе в результате антропогенной деятельности, является одной из ключевых проблем для современного общества (Гулев и др., 2008; Бондаренко и др., 2018; Friedlingstein et al., 2020). Как отмечают некоторые исследователи, увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере за последние несколько столетий связано с возрастающими темпами индустриализации и уменьшением площадей лесов (Байрамова, 2015; Panja, 2021; Lawrence et al., 2022). Это может способствовать увеличению частоты экстремальных климатических событий и сокращению ледяного покрова Мирового океана (Koerner, Lundgaard, 1995; Алексеев и др., 2015; Shahgedanova, 2021). В качестве одной из мер по смягчению последствий проис-

ходящих в настоящее время так называемых «быстрых» климатических изменений («rapid» climate changes, Holmes et al., 2011) выделяют необходимость разработки высокотехнологичных методов наблюдения за климатом и прогнозирования его изменений, основанных на долговременном мониторинге глобальных биогеохимических циклов. В настоящее время для исследования в этой области одним из наиболее известных (признанных) является комплексный подход, сочетающий стационарные наземные и дистанционные методы наблюдения (Schimel et al., 2015; Jacob et al., 2016; Sellers et al., 2018). Отмечается, что в связи с изменением климата на глобальном и локальном уровнях углеродный цикл (процессы стока и эмиссии CO₂) в лесных сообществах претерпевает существенные изменения, причем наиболее

значимые – в лесах бореальной зоны (Кашкаров, Поморцев, 2007; Graven et al., 2013). В связи с этим пополнение данных о строении, структурной организации и взаимовлиянии основных компонентов таежных лесов имеет важное значение для более глубокого понимания происходящих изменений и снижения ущерба от их последствий.

В Российской Федерации в 2022 г. создан Консорциум РИТМ (<https://ritm-s.ru>) для решения задач, связанных с мониторингом климатически активных веществ в наземных экосистемах. Институтом леса Карельского научного центра РАН в рамках работы в Консорциуме в 2023 г. организован тестовый полигон интенсивного уровня I типа «Кивач» для обеспечения долговременного мониторинга бюджета углерода (С) в малонарушенных старовозрастных лесах средней тайги. Исследования на тестовых полигонах данного типа проводятся с целью установления взаимосвязей между основными компонентами лесных экосистем в процессах накопления углерода посредством геопространственного моделирования пулов углерода с использованием данных как наземных наблюдений, так и дистанционного зондирования высокого разрешения,

полученных с применением беспилотных летательных аппаратов.

Цель данного исследования – оценить фитомассу и запасы С в древостое, подросте, подлеске, а также крупных древесных остатках (КДО) в сосняках черничных тестового полигона «Кивач».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Сосновые леса занимают около 2/3 лесного фонда Республики Карелия (Ананьев, Мошников, 2016; Государственный доклад ..., 2023). Спелые и перестойные древостои сосняков черничных занимают 34% сосняков республики (Государственный доклад ..., 2023). В сосновых лесах средней тайги республики доминирует черничный тип, занимающий до 33% площади (Казимиров и др., 1977; Biotic diversity ..., 2003; Волков, 2008). Исследование различных компонентов сосняков черничного типа леса проведено на тестовом интенсивного уровня I типа полигоне «Кивач», расположенном в Кондопожском районе Республики Карелия (подзона средней тайги, 62.29° N, 34.01° E). На основании данных рекогносцировочного обследования лесов полигона проведен анализ породной, возрастной и типологической стру-

ктуры лесных сообществ и КДО (Мошников и др., 2024). Затем на полигоне была организована сеть из 30 постоянных пробных площадей (ППП), объединенных в восемь групп, в соответствии с типом леса, возрастом древостоя, напочвенным покровом и типом почвы. Результаты, представленные в данной статье, получены на основании исследований, проведенных в июле-августе 2023 г. на восьми ППП тестового полигона, заложенных в сосняках черничных на песчаных подзолах (группа 1).

Полевые работы проводили сотрудники Института леса КарНЦ РАН. Размер ППП составляет 0.25 га (50×50 м). При закладке ППП и камеральной обработке данных использовали общепринятые в лесной таксации методы (Третьяков и др., 1965; Анучин, 1982). Оценка общей фитомассы (ОФ) и запаса С в древесном ярусе выполнена несколькими способами:

(I) в исходном варианте использованы модели зависимости ОФ от запаса стволовой древесины на основе региональных исследований А. А. Иванчикова (1971, 1974), Н. И. Казмирова, Р. М. Морозовой (1973), Н. И. Казмирова с соавторами (1977, 1978), А. А. Кучко, В. А. Матюшкина (1974) и др. (рис. 1). Запасы С

рассчитаны для каждой фракции с использованием коэффициентов (0.5 – для массы абсолютно сухого вещества стволов, ветвей и корней (с корой) древесных растений и 0.45 – для хвои, листьев и т.д.) (Кобак, 1988; Исаев и др., 1993; Уткин и др., 1998). Сравнительный анализ проведен по следующим методикам:

(II) на основе работы В. А. Усольцева (Усольцев, 2002);

(III) на основе таблиц и моделей хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (под редакцией А. З. Швиденко, 2008);

(IV) на основе материалов Распоряжения Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р (ред. от 20.01.2021) «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов» и Приказа Минприроды России от 27.05.2022 № 371 "Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов" (далее «Распоряжение ..., 2017», «Приказ ..., 2022»);

(V) на основе работы Д.Г. Щепашенко с соавторами (Schepaschenko et al., 2018).

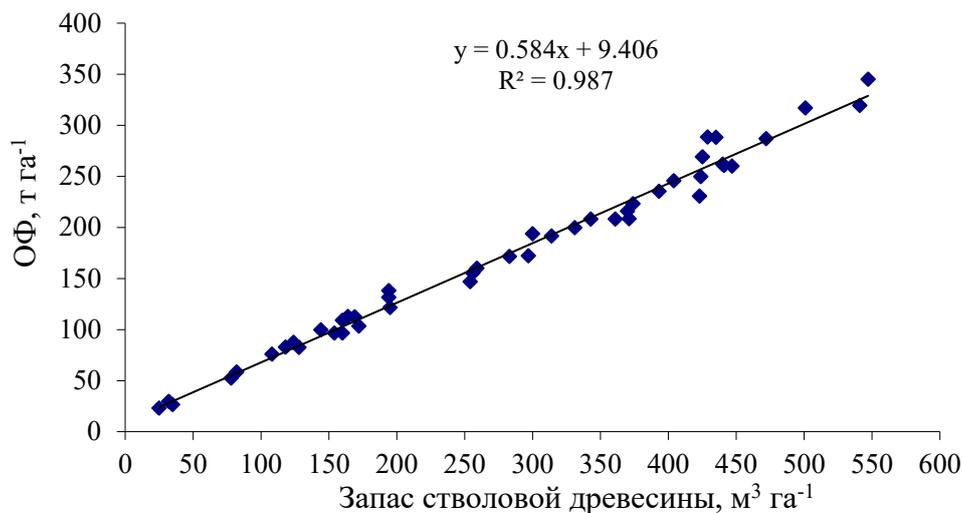


Рисунок 1. Зависимость величины общей фитомассы от запаса стволовой древесины в сосновых древостоях Карелии

Учет подроста и подлеска проводили на площадках 1×1 м на двух лентах, расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях (С – Ю, З – В) вдоль границы ППП (рис. 2). Общая площадь учета составила 99 м². Для расчета запаса С подроста и подлеска применялась методика, утвержденная «Приказом ..., 2022»). Следует учесть, что фитомасса подроста и подлеска является компонентом ОФ.

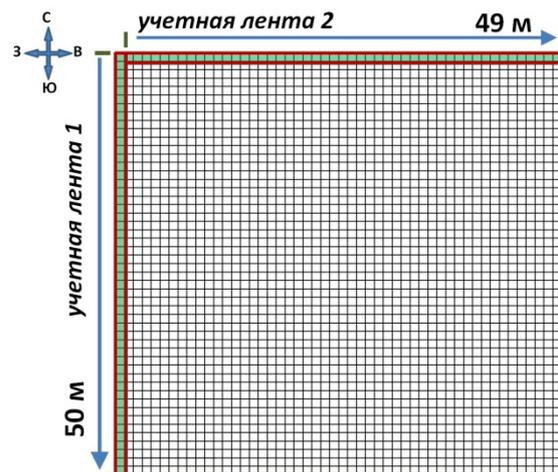


Рисунок 2. Схема закладки лент для учета подроста и подлеска на ППП

Учет запасов КДО осуществляли двумя способами – линейным и ленточным. Трансекты длиной 50 м закладывали по периметру ППП в двух взаимно перпендикулярных направлениях (С – Ю, З – В), ленты шириной 2 м – по обе стороны от оси трансекты. Учет по оси трансекты (линейный метод) проводили для определения

объемов (запаса) валежа и зависших деревьев (бурелома, ветровала) диаметром более 6 см. Учет на лентах (ленточный метод) проводили для определения объемов (запаса) пней диаметром более 6 см, сухостоя и сохранившей вертикальное положение части бурелома диаметром более 6 см на высоте 1.3 м (остолопов). Определение класса

разложения осуществляли по методике, разработанной Е. В. Шороховой с соавторами (Шорохова, Шорохов, 1999; Shorohova, Kapitsa, 2015). У всех фракций КДО учитывали принадлежность к древесной породе и класс разложения. У валежа определяли диаметр в месте пересечения оси трансекты, у пней –

$$M_{log} = (\pi^2/8 \sum d_i^2 S)/\Sigma L_j, \quad (1)$$

где: M_{log} – запас валежа, d_i – диаметр ствола в месте пересечения трансекты (м), L_j – длина трансекты (в данном случае 50 м), S – площадь учета (в данном случае 10000 м²).

Объем пней по породам и классам разложения (V_{st}) рассчитывали, как:

$$V_{st} = \frac{\pi h}{3} (R^2 + Rr + r^2), \quad (2)$$

где: h – высота пня (м); R и r – максимальный и минимальный радиусы (м).

Объем сухостойных (V_{sn}) деревьев по породам рассчитывали по формуле:

$$V_{sn} = SHF, \quad (3)$$

где: S – площадь поперечного сечения сухостойного дерева на высоте 1.3 м (м²), HF – видовая высота (Кофман, 1986; Тетюхин и др., 2004).

Запасы C (т С га⁻¹) в КДО рассчитывали с использованием значений базисной плотности согласно системе классов разложения (Капица, Шорохова, 2012; Shorohova, Kapitsa, 2015), конверсионных коэффициентов (Замолдчиков и др., 1998) и моделей разложения древесины и коры с учетом фрагментации (Шорохова, Шорохов, 1999; Shorohova et al., 2016).

диаметры основания и верхней части и высоту (от шейки корня), у сухостоя – диаметр на высоте 1.3 м и высоту.

Запас валежа, зависших деревьев и крупных ветвей рассчитывали отдельно по породам, классам разложения и положению по формуле (Warren, Olsen, 1964; Stahl et al., 2001):

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Древостой. Таксационные показатели древостоев приведены в табл. 1. Обращают на себя внимание значительные различия в производительности древостоев, что выражается в отдельных случаях двукратной разницей в запасах стволовой древесины и в значительных колебаниях в классах бонитета – от I до IV.

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев сосняков черничных полигона «Кивач»

№ ППП	Состав	Густота, шт. га ⁻¹	Средние		Полнота		Запас, м ³ га ⁻¹	Класс бонитета
			D _{1.3} , см	H, м	абсолют., м ² га ⁻¹	относит.		
38	9.3C ₁₉₀ 0.4E ₉₀ 0.3B ₉₀	540	33.5	29.9	40.2	1.1	514	II
44	9.2C ₁₉₀ 0.8C ₁₄₀	452	33.1	24.6	29.3	0.8	314	III
113	10C ₁₈₀ ед.Е ₆₀ Е ₄₀	576	28.7	24.4	31.0	0.9	343	III
154	6C ₁₉₀ 3.2C ₂₄₀ 0.8C ₇₀	876	31.2	21.7	27.7	0.8	276	III-IV
155	8.6C ₁₈₀ 0.6C ₂₈₀ 0.4C ₁₄₀ 0.4E ₆₀	744	42.0	31.4	40.3	1.1	513	I
219	10C ₁₈₅	324	37.8	28.1	29.3	0.8	360	II
279	8.1C ₁₈₅ 0.8E ₆₀ 0.6E ₁₆₀ 0.3E ₁₂₀ 0.2B ₉₀	756	44.3	32.9	50.7	1.3	670	I
300	10C ₁₉₀ ед.Е ₇₀	444	35.7	27.2	31.4	0.8	374	II

Общая фитомасса древостоя сосняков, вычисленная по региональным моделям, в среднем составляет 254 т га⁻¹ при среднем запасе стволовой древесины 419 м³ га⁻¹ (табл. 2). Минимальные значения наблюдаются на ППП154, максимальные – на ППП279, характеризующейся выдающимися для Карелии показателями (см. табл. 2).

Результаты, полученные с использованием методик II (Усольцев, 2002, 2010) и III (Швиденко и др., 2008), демонстрируют большие значения ОФ (в среднем выше на 7.6 и 10.8%, соответственно), в сравнении с рассчитанными на основе региональных данных. Запасы С ОФ, определенные по региональным данным, в среднем составляют 126.5 т С га⁻¹ и также заметно варьируют – от 85 до 197 т С га⁻¹. Широкая амплитуда показателя обуслов-

лена отличиями в фитомассе древесины – основном депо С в лесных фитоценозах. Запасы С, сосредоточенного в ОФ, рассчитанные с применением методик IV и V, также заметно превышают региональные оценки (в среднем выше на 7.4 и 10.2%, соответственно). При этом следует учитывать, что методика IV подразумевает отдельные расчеты фитомассы древостоя и подроста, подлеска, т.е. в конечных результатах расчетов ОФ можно ожидать еще большие отличия. Также обращает на себя внимание выраженная «чувствительность» методики IV к колебаниям величины ОФ. При отклонениях в большинстве случаев на 4-6%, наибольшие их значения можно наблюдать как при минимальных (на ППП154 +14.5%), так и максимальных (на ППП279 +9.7%) величинах ОФ.

Таблица 2. Общая фитомасса (ОФ) и запас С (Мс) в сосняках черничных полигона «Кивач», рассчитанные с применением различных методик

Показатель	№ ППП								M±m
	38	44	113	154	155	219	279	300	
ОФ, т га ⁻¹									
Методика I	309.5	192.8	209.7	170.6	308.9	219.6	394.8	227.8	254.2±26.9
Методика II	333.4	206.8	225.2	182.8	332.8	235.9	425.8	244.8	273.4±29.1
Различия (к методике I), %	+7.7	+7.3	+7.4	+7.2	+7.7	+7.4	+7.9	+7.5	+7.6
Методика III	344.5	212.0	231.2	186.8	343.9	242.4	441.3	251.7	281.7±30.5
Различия (к методике I), %	+11.3	+10.0	+10.3	+9.5	+11.3	+10.4	+11.8	+10.5	+10.8
Мс, т га ⁻¹									
Методика I	154.1	95.8	104.3	84.7	153.8	109.2	196.7	113.3	126.5±13.4
Методика IV	164.2	99.7	109.4	97.0	165.8	114.5	215.8	120.0	135.8±14.8
Различия (к методике I), %	+6.6	+4.1	+4.9	+14.5	+7.7	+4.9	+9.7	+5.9	+7.4
Методика V	173.0	105.3	115.2	92.3	172.2	120.4	210.5	125.9	139.4±14.5
Различия (к методике I), %	+12.2	+10.0	+10.5	+9.0	+12.0	+10.2	+7.0	+11.1	+10.2

Таким образом, модель, основанная на региональных данных (методика I), демонстрирует заметное (до 10%) отклонение в меньшую сторону величины ОФ и, соответственно, запасов сосредоточенного в ней С в сравнении с литературными сведениями и расчетами, выполненными по нормативным документам МПРиЭ РФ. Еще более выраженными (до +13%) оказались различия в значениях ОФ схожих по возрасту и запасу северотаежных сосняков зеленомошных Республики Коми (Осипов и др., 2022). Близкие значения (190-240 т га⁻¹ в надземной части) в спелых сосняках брусничных и ягодни-

ковых Среднего Урала получены И. Л. Трофимовой (2015).

Подрост и подлесок. В ярусе подроста на четырех из восьми ППП доминирует сосна (от 6 до 10 единиц состава по числу растений) и на четырех – ель (5-10 единиц), иногда в сочетании с березой (до 3 единиц). Общая густота подроста варьирует от 0.2 до 4.9 тыс. шт. га⁻¹. Подлесок, как правило, отсутствует или представлен рябиной обыкновенной (густотой от 0.1 до 1.2 тыс. шт. га⁻¹) и ольхой серой (0.1 тыс. шт. га⁻¹).

В надземной части подроста сосредоточено от 0.28 до 3.36 т, в подземной – от 0.11 до 1.31 т фитомассы на 1 га, что в

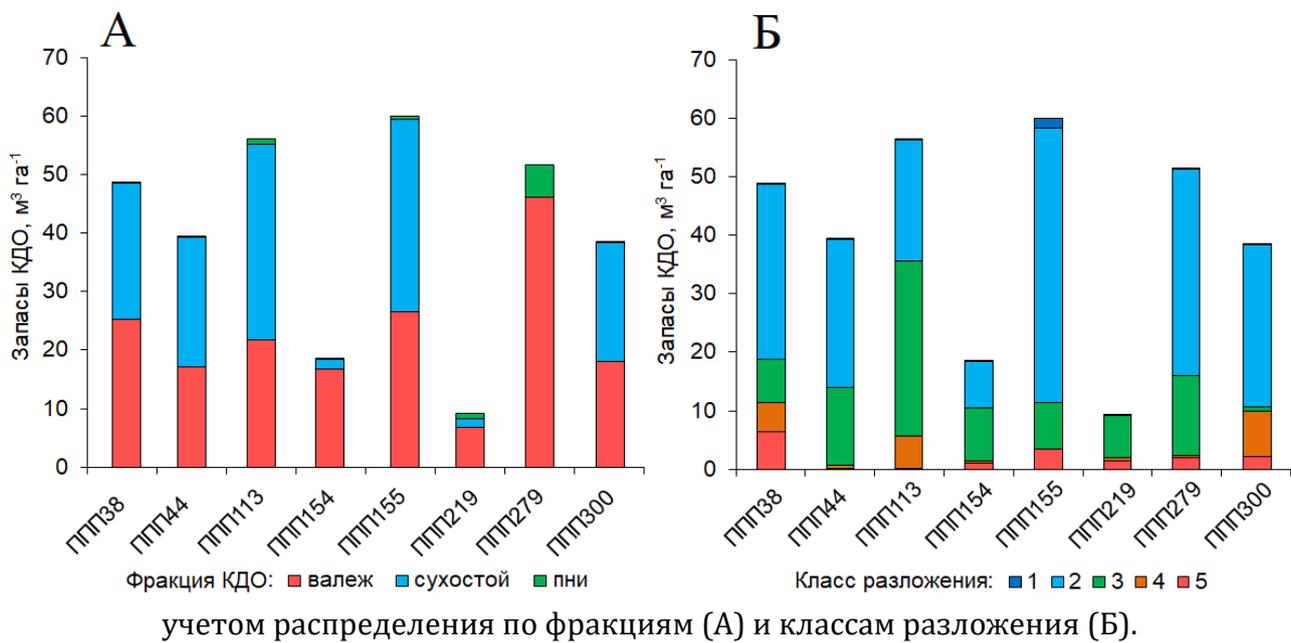
совокупности позволяет аккумулировать в среднем 0.7 т С га^{-1} при колебаниях от 0.2 до 2.3 т С га^{-1} (табл. 3). Подлесок в силу относительной немногочисленности вносит незначительный вклад (от 0 до 16%) в запас С указанного компонента фитоценоза, накапливая лишь до 0.08 т С га^{-1} . Схожие результаты получены в сосняках 70-120-летнего возраста зеленомошной группы Среднего Урала, где общая фитомасса подроста и подлеска колеблется от 0.1 до 1.0 т га^{-1} (Трофимова и др., 2012). В 80-90-летних сосняках черничных белорусского Полесья фитомасса подроста и подлеска также не превышает 1.5 т га^{-1} (Романов и др., 1976). В то же время заметно бóльшие значения фитомассы подроста и подлеска ($8.8-9.3 \text{ т га}^{-1}$) зафиксированы в сосняках кустарничково-зеленомошных Ленинградской области (Грязькин и др., 2021). Возможно, существенные различия в результатах исследований могут объясняться различным возрастом древостоев. Так, по данным Т. А. Пристовой (2020), в таежных лиственных молодняках только надземная фитомасса подлеска может достигать почти 9 т га^{-1} . Д. А. Данилов с соавторами (2023) и А. А. Яковлев (2024) предложили модели для

расчета фитомассы подроста и подлеска на постагроденных землях Ленинградской области, однако возможность их применения в условиях сомкнутого древостоя требует дополнительного исследования.

Крупные древесные остатки. Запасы КДО значительно варьируют в зависимости от ППП. Среднее значение запасов составляет $40 (SE \pm 6) \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Наименьшие запасы КДО отмечены на ППП219 ($9 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$), наибольшие – ППП279 ($51 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$), ППП113 ($56 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$), ППП155 ($60 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$) (рис. 3). Сравнительно малые запасы КДО на некоторых ППП (например, ППП219 и ППП154), вероятно, обусловлены действием лесных пожаров высокой интенсивности, о чем свидетельствует наличие пожарных подсушин на живых и сухостойных деревьях. Породный состав КДО преимущественно представлен сосной. В качестве исключения можно выделить ППП279, где доли КДО сосны и ели составляют по 11%, в то время как доля березы значительно выше и превышает 75%. Кроме того, здесь 2% запаса представлено подлесочной породой – рябиной обыкновенной, что не наблюдается на других ППП рассматриваемой группы.

Таблица 3. Фитомасса (Фп) и запасы С (Сп) в подросте и подлеске в сосняках черничных полигона «Кивач»

№ ПП	Компонент насаждения	Состав	Густота, тыс. шт. га ⁻¹	Надземная часть		Подземная часть		Итого	
				Фп, т га ⁻¹	Сп, т С га ⁻¹	Фп, т га ⁻¹	Сп, т С га ⁻¹	Фп, т га ⁻¹	Сп, т С га ⁻¹
38	Подрост	8Е2Б	0.5	0.280	0.140	0.109	0.055	0.389	0.195
	Подлесок	0	0	0	0	0	0	0	0
	Всего			0.280	0.140	0.109	0.055	0.389	0.195
44	Подрост	10С+Е	4.9	3.358	1.679	1.309	0.655	4.667	2.334
	Подлесок	0	0	0	0	0	0	0	0
	Всего			3.358	1.679	1.309	0.655	4.667	2.334
113	Подрост	5ЕЗБ2С	0.6	0.407	0.204	0.159	0.080	0.566	0.283
	Подлесок	10Р6	0.1	0.030	0.015	0.012	0.006	0.042	0.021
	Всего			0.437	0.219	0.171	0.086	0.608	0.304
154	Подрост	10С+Е	3.2	1.376	0.688	0.537	0.269	1.913	0.957
	Подлесок	0	0	0	0	0	0	0	0
	Всего			1.376	0.688	0.537	0.269	1.913	0.957
155	Подрост	10Е	0.2	0.312	0.156	0.122	0.061	0.434	0.217
	Подлесок	0	0	0	0	0	0	0	0
	Всего			0.312	0.156	0.122	0.061	0.434	0.217
219	Подрост	6С4Е	0.7	0.515	0.256	0.201	0.101	0.715	0.358
	Подлесок	0	0	0	0	0	0	0	0
	Всего			0.515	0.256	0.201	0.101	0.715	0.358
279	Подрост	10Е	0.5	0.667	0.334	0.260	0.130	0.927	0.464
	Подлесок	10Р6	1.2	0.108	0.054	0.042	0.021	0.149	0.075
	Всего			0.775	0.388	0.302	0.151	1.076	0.539
300	Подрост	6С4Е	1.1	1.173	0.587	0.457	0.229	1.630	0.815
	Подлесок	10Олс	0.1	0.008	0.004	0.003	0.002	0.011	0.006
	Всего			1.181	0.591	0.460	0.231	1.641	0.821
В среднем по подросту (M±m)				1.011	0.506	0.394	0.198	1.405	0.703
				±	±	±	±	±	±
				0.364	0.182	0.142	0.071	0.506	0.253
В среднем по подлеску (M±m)				0.018	0.009	0.007	0.004	0.025	0.013
				±	±	±	±	±	±
				0.013	0.007	0.005	0.003	0.018	0.009



Распределение запасов КДО по трем основным фракциям (пни, валеж, сухостой) в зависимости от ППП характеризуется следующими закономерностями (рис. 3А). Валеж вносит существенный вклад в общие запасы КДО, составляя от 39 до 90%. Доля сухостоя варьирует также значительно – от 0 до 60%. Доля пней в общих запасах КДО значительно меньше в сравнении с другими фракциями и варьирует в диапазоне от 0 до 12%.

По соотношению запасов валеж: сухостой исследуемые ППП значительно различаются, и условно можно выделить три группы: 1) с преобладанием валежа (ППП279 – 89% : 0%, ППП154 – 90% : 9%, ППП219 – 74% : 17%), 2) запасы фракций

сопоставимы (ППП38 – 52% : 48%, ППП300 – 47% : 53%), 3) с преобладанием сухостоя (ПП113 – 39% : 60%, ППП44 – 43% : 57%, ППП155 – 44% : 55%). Стоит отметить искусственность выделенных групп, поскольку в группу 1 входят ППП, значительно различающиеся как по абсолютным значениям запасов КДО, так и по характеристикам древостоев, в то время как различия между группами 2 и 3 не столь велики, а значения запасов и соотношения разных фракций КДО в целом соответствуют ранее полученным для среднетаежных сосняков Карелии данным (Мошников и др., 2019).

Анализ распределения КДО по классам разложения демонстрирует преобла-

дание 2-го класса разложения, доля которого составляет в среднем 60% от общих запасов. Доля других классов значительно меньше: на КДО 3-го класса разложения приходится в среднем 28%, 4-го класса – 6%, 5-го класса – 5%, 1-го класса – всего 1% (рис. 3Б).

Средние запасы С в КДО в исследованных сообществах составляют 9.2 ($SE \pm 1.6$) т С га⁻¹, хотя диапазон варьирования этого показателя весьма широк – от 1.7 (ППП219) до 14.3 т С га⁻¹ (ППП155) (рис. 4).

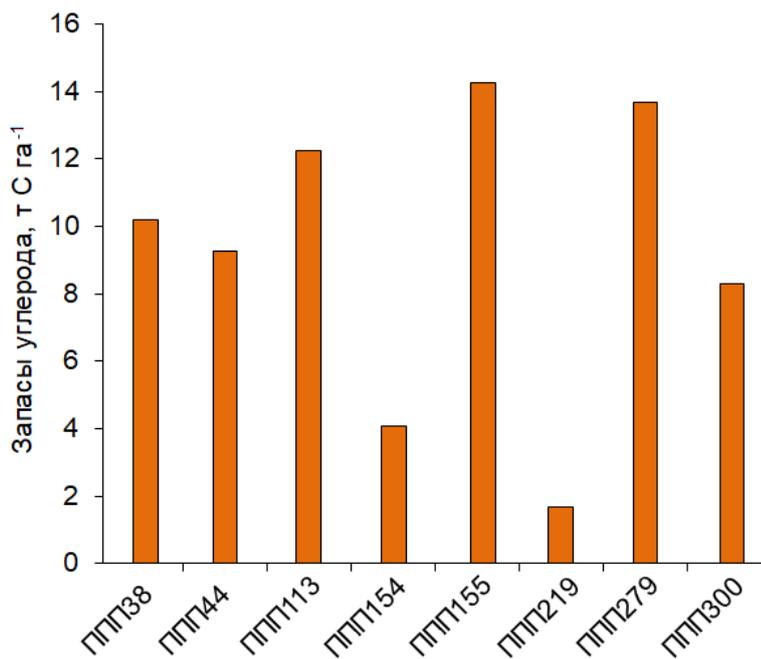


Рисунок 4. Запасы углерода (т С га⁻¹) в КДО на ППП сосняках черничных на полигоне «Кивач»

Распределение запасов С по фракциям КДО выглядит следующим образом: в пнях средние запасы С составляют 0.2 ($SE \pm 0.15$) т С га⁻¹ с диапазоном варьирования от 0 до 1.2 т С га⁻¹, в валеже – 4.9 ($SE \pm 1.2$) т С га⁻¹ с диапазоном варьирования от 1.2 до 12.5 т С га⁻¹, в сухостое – 4.1 ($SE \pm 1.2$) т С га⁻¹ с диапазоном варьирования от 0 до 8.2 т С га⁻¹.

Сопоставление полученных нами данных с литературными показывает,

что общие запасы С в КДО в исследованных лесных сообществах полигона «Кивач» в целом соответствуют диапазону значений, рассчитанных для таежных лесов Европейской части России. Так, запасы С в КДО могут варьировать в очень широких пределах – от 0 до 107 т С га⁻¹ при среднем значении около 15.2 т С га⁻¹ (Капица, Шорохова, 2012). По данным Д. Г. Замолодчикова с соавторами (2018), запасы С в КДО в лесах Северо-

Западного Федерального округа составляют в среднем 10.4 т С га^{-1} , а в хвойных лесах округа – около 14.6 т С га^{-1} (Замолодчиков, 2009). В 100-летнем сосняке черничном II класса бонитета в КДО в среднем сосредоточено 9.4 т С га^{-1} . (Курбанов, 2003). В среднетаежных сосновых лесах запасы С в КДО составляют в среднем 11.0 т С га^{-1} , также демонстрируя значительный диапазон варьирования (Капица и др., 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая фитомасса древостоя среднетаежных сосняков черничных на песчаных подзолах (на примере полигона «Кивач»), вычисленная по моделям, основанным на региональных данных, в среднем составляет 254.2 т га^{-1} и варьирует в диапазоне от 171 до 395 т га^{-1} , что связано с широким диапазоном производительности древостоев группы. Запас сосредоточенного в ней углерода по тем же причинам варьирует в интервале $85\text{--}197 \text{ т С га}^{-1}$ и в среднем достигает $126.5 \text{ т С га}^{-1}$. Сравнительный анализ результатов, проведенный с использованием четырех методик (в т.ч. официально разработанной МПРиЭ РФ и зарегистрированной в Минюсте), свидетельствует о значительных различиях (+7...+10%) в оценке общей фитомассы

древостоя и запаса углерода в ней в сравнении с региональной моделью.

Учитывая, что сосновые леса занимают почти 2/3 лесного фонда Республики Карелия, возникает закономерный вопрос, что более корректно при оценке запаса С: применение методик, основанных на усредненных данных (для всей России – от Калининградской области до Дальнего Востока и составленных на столь же обширном материале) или основанных на результатах региональных исследований, более полно отражающих местные (локальные) условия, но выполненных на материалах меньшего объема.

Подрост и подлесок вносят весьма незначительный вклад в общий запас С сосняков черничных на песчаных подзолах. В этих условиях они суммарно накапливают в среднем 0.72 т С га^{-1} (при колебаниях от 0.2 до 2.3 т С га^{-1}), что составляет 0.57% (0.1-2.4%) от общего запаса С пула ОФ обследованных насаждений.

Запасы КДО в исследованных сосняках полигона «Кивач» широко варьируют – от 9 до $60 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$. Распределение запасов КДО в зависимости от древесной породы, фракции и класса разложения также является неравномерным.

Совокупность этих факторов определяет широкую вариабельность запасов С в КДО – от 1.7 до 14.3 т С га⁻¹ при среднем значении 9.2 т С га⁻¹.

Суммарный запас С фитомассы и КДО сосняков черничных на песчаных подзолах варьирует от 105 до 210 т га⁻¹ и в среднем составляет 136 т га⁻¹: доля древостоя достигает в среднем 92.7% (при колебаниях от 89.9 до 98.1%), далее следуют КДО – 6.8% (1.5–10.6%). Участие подроста и подлеска в формировании суммарного запаса С в этих условиях незначительно – в среднем 0.5% при колебаниях от 0.1 до 1.1%. Полученные результаты могут быть использованы для оценки и моделирования углеродного баланса спелых и перестойных сосняков средней тайги. В дальнейших исследованиях коллектив авторов планирует проведение анализа данных о фитомассе и запасах углерода в сосняках зеленомошной группы типов леса в зависимости от возраста сообществ (от молодняков до приспевающих) и категории лесов по целевому назначению (защитные, эксплуатационные), что позволит уточнить региональные модели углеродных циклов среднетаежных сосняков на разных стадиях развития сообществ при различных сценариях лесопользования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ИЛ КарНЦ РАН, принимавшим участие в сборе и обработке полевого материала: Александру Михайловичу Крышеню, Гульнаре Вялитовне Ахметовой, Надежде Васильевне Гениковой, Владимиру Александровичу Карпину, Елене Викторовне Мошкиной, Сергею Геннадьевичу Новикову, Антону Николаевичу Солодовникову, Вере Владимировне Тимофеевой, Андрею Владимировичу Туюнену, а также руководству и работникам Государственного природного заповедника «Кивач» за содействие в выполнении исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института леса КарНЦ РАН (рег. №121061500082-2), а также по теме «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации; обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6) в рамках реализации важнейшего иннова-

ционного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Единая национальная

система мониторинга климатически активных веществ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г. В., Радионов В. Ф., Александров Е. И., Иванов Н. Е., Харланенкова Н. Е. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1. С. 32–41.

Ананьев В. А., Мошников С. А. Структура и динамика лесного фонда Республики Карелия // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 4. С. 19–29.

Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.

Байрамова Л. А. К вопросу об изменениях климата в глобальном масштабе // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2015. № 1-2. С. 94–97.

Бондаренко Л. В., Маслова О. В., Белкина А. В., Сухарева К. В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2018. № 2. С. 84–93.

Волков А. Д. Типы леса Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 180 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 году: информационное

электронное издание // МПРиЭ Республики Карелия; ред.: А. Н. Громцев, В. В. Каргинова-Губинова, О. Л. Кузнецов, Е. Г. Полина. Петрозаводск. КарНЦ РАН, 2023. 265 с.

Грязькин А. В., Беляева Н. В., Кази И. А., Лубинь Г., Чэн Т. Запасы углерода в сосняках и ельниках Ленинградской области // The Scientific Heritage. 2021. № 64. Vol. 2. P. 3–6.

Гулёв С. К., Катцов В. М., Соломина О. Н. Глобальное потепление продолжается // Вестник РАН. 2008. Т. 78. № 1. С. 20–27.

Данилов Д. А., Яковлев А. А., Суворов С. А., Крылов И. А., Корчагов С. А., Хамитов Р. С. Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагrogenных землях // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 65–76.

Замолодчиков Д. Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок // Лесоведение. 2009. № 4. С. 3–15.

Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Честных О. В. Динамика баланса углерода в лесах федеральных окру-

- гов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. № 1. С. 1–24.
- Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н.* Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.
- Иванчиков А. А.* Биологическая и хозяйственная продуктивность сосняков Карелии // Лесные растительные ресурсы южной Карелии. Петрозаводск, 1971. С. 78–84.
- Иванчиков А. А.* Фитомасса сосняков и ее изменение с возрастом древостоев // Лесные растительные ресурсы Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 37–50.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Уткин А. И., Пряжников А. А., Замолодчиков Д. Г.* Оценка запасов углерода и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 5–10.
- Казимиров Н. И., Волков А. Д., Зябченко С. С., Иванчиков А. А., Морозова Р. М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 303 с.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 176 с.
- Казимиров Н. И., Морозова Р. М., Куликова В. К.* Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука, 1978. 216 с.
- Капица Е. А., Шорохова Е. В.* Пулы и потоки углерода крупных древесных остатков в лесах Европейской части таежной зоны // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 201. С. 41–49.
- Капица Е. А., Шорохова Е. В., Кузнецов А. А.* Пул углерода крупных древесных остатков в коренных лесах северо-запада Русской равнины // Лесоведение. 2012. № 5. С. 36–43.
- Кашкаров Е. П., Поморцев О. А.* Глобальное потепление климата: ритмическая основа прогноза и её практическое значение в охране лесов Северного полушария // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24. № 2-3. С. 207–216.
- Кобак К. И.* Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
- Кофман Г. Б.* Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. 211 с.
- Курбанов Э. А.* Бюджет углерода сосновых насаждений центрального лесотаксационного района России. Дисс. ... докт. с.-х. наук (спец. 06.03.02).

- Йошкар-Ола, 2003. 336 с.
- Кучко А. А., Матюшкин В. А. Запасы и состав органического вещества в различных типах березняков южной Карелии // Лесные растительные ресурсы Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 24–36.
- Мошников С. А., Ананьев В. А., Матюшкин В. А. Оценка запасов крупных древесных остатков в среднетаежных сосновых лесах Карелии // Лесоведение. 2019. № 4. С. 266–273.
- Мошников С. А., Ромашкин И. В., Пеккоев А. Н. Особенности структуры лесного покрова на примере полигона интенсивного уровня «Кивач» (Республика Карелия) // Вопросы лесной науки. 2024. Т. 7. № 2. Статья № 144.
- Осипов А. Ф., Кутявин И. Н., Манов А. В., Кузнецов М. А., Бобкова К. С. Запасы и структура фитомассы древостоев северотаежных сосняков Республики Коми // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал 2022. № 4. С. 25–38. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-25-38
- Приказ Минприроды России от 27.05.2022 N 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (дата обращения: 10.08.2024).
- Пристова Т. А. Фитомасса подлеска в производных листовенных насаждениях средней тайги // Лесотехнический журнал. 2020. № 1. С. 60–68. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/6
- Распоряжение Минприроды РФ от 30.06.2017 N 20-р (ред. от 20.01.2021) «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов». URL: <https://clck.ru/3FUU9z> (дата обращения: 10.08.2024).
- РИТМ углерода. URL: <https://ritm-s.ru/about> (дата обращения: 10.09.2024).
- Романов В. С., Петров Е. Г., Русаленко А. И. Наземная фитомасса сосняков БССР по типам леса // Лесоведение и лесное хозяйство: республиканский межведомственный сборник. Минск: Вышэйшая школа, 1976. № 11. С. 3–15.
- Тетюхин С. В., Минаев В. Н., Богомолова Л. П. Лесная таксация и лесоустройство: Нормативно-справочные материалы по Северо-Западу Российской Федерации // Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2004. 360 с.
- Третьяков Н. В., Горский П. В., Самойлович Г. Г. Справочник таксатора.

- М.: Лесная промышленность, 1965. 460 с.
- Трофимова И. Л.* Надземная фитомасса и ее годичная продукция в спелых сосняках Среднего Урала. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2015. 24 с.
- Трофимова И. Л., Кощеева У. П., Нагимов З. Я.* Надземная фитомасса сосновых насаждений в различных типах леса в условиях Среднего Урала // *Аграрный вестник Урала*. 2012. № 8. С. 55–58.
- Усольцев В. А.* Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
- Усольцев В. А.* Фитомасса лесов Северной Евразии. Нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 763 с.
- Уткин А. И., Замолотчиков Д. Г., Гульбе Т. А., Гульбе Я. И., Ермолова Л. С.* Определение запасов углерода по таксационным показателям древостоев: метод поучастковой аллометрии // *Лесоведение*. 1998. № 2. С. 38–54.
- Швиденко А. З., Щенащенко Д. Г., Нильсон С., Булуй Ю. И.* Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии: (нормативно-справочные материалы) // Федеральное агентство лесного хоз-ва, Междунар. ин-т прикладного системного анализа; 2-е изд., доп. Москва, 2008. 886 с.
- Шорохова Е. В., Шорохов А. А.* Характеристика классов разложения древесного детрита ели, березы и осины в ельниках средней подзоны тайги // *Тр. СПбНИИЛХ*. 1999. № 1. С. 17–24.
- Яковлев А. А.* Влияние почвенных условий на формирование растительных сообществ на постагрогенных и лесных землях (на примере Ленинградской области). Дисс. ... канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург, 2024. 354 с.
- Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species / A. N. Gromtsev, S. P. Kitaev, V. I. Krutov, O. L. Kuznetsov, T. Lindholm, E. B. Yakovlev (Eds.), Petrozavodsk: Karelian research Centre of RAS, 2003, 244 p.
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M. W., Andrew R. M., Hauck J. et al.* Global Carbon Budget 2020 // *Earth System Science Data*. 2020. Vol. 12. P. 3269–3340.
- Graven H. D., Keeling R. F., Piper S. C., Patra P. K., Stephens B. B. et al.* Enhanced seasonal exchange of CO₂ by northern ecosystems since 1960 // *Science*. 2013. Vol. 341. P. 1085–1089.

- Holmes J., Lowe J., Wolff E., Srokosz M.* Rapid climate change: lessons from the recent geological past // *Global and Planetary Change*. 2011. Vol. 79. No. 3-4. P. 157–162.
- Jacob D. J., Turner A. J., Maasakkers J. D., Sheng J., Sun K.* et al. Satellite observations of atmospheric methane and their value for quantifying methane emissions // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. Vol. 16. P. 14371–14396.
- Koerner R. M., Lundgaard L.* Glaciers and global warming // *Geographie Physique et Quaternaire*. 1995. Vol. 49. P. 429–434.
- Lawrence D., Coe M., Walker W., Verchot L., Vandecar K.* The unseen effects of deforestation: biophysical effects on climate // *Frontiers in Forests and Global Change*. 2022. Vol. 5. Article 756115.
- Panja P.* Deforestation, carbon dioxide increase in the atmosphere and global warming: A modelling study // *International Journal of Modelling and Simulation*. 2021. Vol. 41. No. 3. P. 209–219.
- Schimel D., Pavlick R., Fisher J. B., Asner G. P., Saatchi S., Townsend P.* et al. Observing terrestrial ecosystems and the carbon cycle from space // *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21. No. 5. P. 1762–1776.
- Sellers P. J., Schimel D. S., Moore III B., Liu J., Eldering A.* Observing carbon cycle-climate feedbacks from space // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018. Vol. 115. No. 31. P. 7860–7868.
- Shahgedanova M.* Climate change and melting glaciers. Chapter 3 // *The Impacts of Climate Change*. Elsevier, 2021. P. 53–84.
- Shorohova E., Kapitsa E.* Stand and landscape scale variability in the amount and diversity of coarse woody debris in primeval European boreal forests // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 356. P. 273–284.
- Shorohova E., Kapitsa E., Kazartsev I., Romashkin I., Polevoi A., Kushnevskaya H.* Tree species traits are the predominant control on the decomposition rate of tree log bark in a mesic old-growth boreal forest // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 377. P. 36–45.
- Stahl G., Ringvall A., Fridman J.* Assessment of coarse woody debris – a methodological overview // *Ecological Bulletins*. 2001. Vol. 49. P. 57–71.
- Warren W. G., Olsen P. E.* A line transect technique for assessing logging waste

// Forest Science. 1964. Vol. 10. P. 267–276.

REFERENCES

- Alekseev G. V., Radionov V. F., Aleksandrov E. I., Ivanov N. E., Harlanenkova N. E., *Izmeneniya klimata Arktiki pri global'nom poteplenii* (Arctic climate changes with global warming), *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2015, No. 1, pp. 32–41.
- Anan'ev V. A., Moshnikov S. A., *Struktura i dinamika lesnogo fonda Respubliki Kareliya* (Structure and dynamics of forest fund of the Republic of Karelia), *IVUZ «Lesnoj zhurnal»*, 2016, No. 4, pp. 19–29.
- Anuchin N. P., *Lesnaya taksatsiya* (Forest taxation), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- Bajramova L.A., *K voprosu ob izmeneniyah klimata v global'nom masshtabe* (Some aspects of climate changes in global perspective), *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, 2015, No. 1-2, pp. 94–97.
- Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species, A. N. Gromtsev, S. P. Kitaev, V. I. Krutov, O. L. Kuznetsov, T. Lindholm, E. B. Yakovlev (Eds.), Petrozavodsk. Karelian research Centre of RAS, 2003, 244 p.
- Bondarenko L. V., Maslova O. V., Belkina A. V., Suhareva K. V., *Global'noe izmenenie klimata i ego posledstviya* (Global climate changes and its after-effects), *Vestnik Rossijskogo jekono-micheskogo universiteta im. G. V. Plehanova*, 2018, No. 2, pp. 84–93.
- Danilov D. A., Jakovlev A. A., Suvorov S. A., Krylov I. A., Korchagov S. A., Hamitov R. S., *Formirovanie nadzemnoj fitomassy listvennyh drevesnyh porod na postagrogennyh zemljah* (Formation of aboveground phytomass of deciduous tree species on Post-Agrogenic Lands), *IVUZ «Lesnoj zhurnal»*, 2023, No. 1, pp. 65–76.
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M. W., Andrew R. M., Hauck J. et al., *Global Carbon Budget 2020*, *Earth System Science Data*, 2020, Vol. 12, pp. 3269–3340.
- Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy Respubliki Kareliya v 2022 godu*: informacionnoe elektronnoe izdanie (State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2022: information electronic publication), Eds.: A. N. Gromtsev, V. V. Karginova-Gubinova, O. L. Kuznetsov, E. G. Polina, Petrozavodsk: KarNC RAN, 2023, 265 p.

- Graven H. D., Keeling R. F., Piper S. C., Patra P. K., Stephens B. B. et al., Enhanced seasonal exchange of CO₂ by northern ecosystems since 1960, *Science*, 2013, Vol. 341, pp. 1085–1089.
- Grjaz'kin A. V., Beljaeva N. V., Kazi I. A., Lubin' G., Chjen T., Zapasy ugleroda v sosnjakah i el'nikah Lenigradskoj oblasti (Carbon reserves in pine and spruce forests of Leningrad region), *The Scientific Heritage*, 2021, No. 64, pp. 3–6.
- Gulev S. K., Katcov V. M., Solomina O. N., Global'noe poteplenie prodolzhaetsja (Global warming continues), *Vestnik RAN*, 2008, Vol. 78, No. 1, pp. 20–27.
- Holmes J., Lowe J., Wolff E., Srokosz M., Rapid climate change: lessons from the recent geological past, *Global and Planetary Change*, 2011, Vol. 79, No. 3–4, pp. 157–162.
- Isaev A. S., Korovin G. N., Utkin A. I., Prjazhnikov A. A., Zamolodchikov D. G., Ocenka zapasov ugleroda i godichnogo deponirovanija ugleroda v fitomasse lesnyh jekosistem Rossii (Assessment of carbon stocks and annual carbon deposition in the phytomass of Russian forest ecosystems), *Lesovedenie*, 1993, No. 5, pp. 5–10.
- Ivanchikov A. A., Biologicheskaja i hozjajstvennaja produktivnost' sosnjakov Karelii (Biological and economic productivity of Karelian pine forests), *Lesnye rastitel'nye resursy juzhnoj Karelii*, Petrozavodsk, 1971, pp. 78–84.
- Ivanchikov A. A., Fitomassa sosnjakov i ee izmenenie s vozrastom drevostoev (Phytomass of pine forests and its change with the age of stands), *Lesnye rastitel'nye resursy Karelii*, Petrozavodsk, 1974, pp. 37–50.
- Jacob D. J., Turner A. J., Maasakkers J. D., Sheng J., Sun K., Liu X., Chance K., Aben I., McKeever J., Frankenberg C., Satellite observations of atmospheric methane and their value for quantifying methane emissions, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, Vol. 16, pp. 14371–14396.
- Jakovlev A. A., *Vlijanie pochvennyh uslovij na formirovanie rastitel'nyh soobshhestv na postagrogennyh i lesnyh zemljah (na primere Leningradskoj oblasti)*. Diss. kand. s.-h. nauk (The influence of soil conditions on the formation of plant communities on postagrogenic and forest lands (on the example of the Leningrad region). Candidate's agric. sci. diss.), Saint-Petersburg, 2024, 354 p.
- Kapica E. A., Shorohova E. V., Kuznecov A. A., Pul ugleroda krupnyh drevesnyh ostatkov v korennyh lesah severozapada Russkoj ravniny (Carbon pool

- of coarse woody debris in the native forests of the north-west of the Russian plain), *Lesovedenie*, 2012, No. 5, pp. 36–43.
- Капца Е. А., Шорохова Е. В., Пулы и потоки углерода крупных древесных остатков в лесах Европейской части таежной зоны (Pools and carbon flows of coarse woody debris in forests of the European part of the taiga zone), *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2012, No. 201, pp. 41–49.
- Kashkarov E. P., Pomorcev O. A., Global'noe потепление климата: ритмическая основа прогноза и его практическое значение в охране лесов Северного полушария (Global climate warming: the rhythmic basis of forecasting and its practical significance in the protection of forests of the Northern hemisphere), *Hvojnye boreal'noj zony*, 2007, Vol. 24, No. 2-3, pp. 207–216.
- Kazimirov N. I., Morozova R. M., *Biologicheskij krugovorot veshhestv v el'nikah Karelii* (Biological cycle of substances in Karelian spruce forests), Leningrad: Nauka, 1973, 176 p.
- Kazimirov N. I., Morozova R. M., Kulikova V. K., Organicheskaja massa i potoki veshhestv v bereznjakah srednej tajgi (Organic mass and flows of substances in birch forests of the middle taiga), Leningrad: Nauka, 1978, 216 p.
- Kazimirov N. I., Volkov A. D., Zyabchenko S. S., Ivanchikov A. A., Morozova R. M., *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Yevropeyskogo Severa* (Metabolism of substances and energy in pine forests of the European North of the USSR), Petrozavodsk-Leningrad: Nauka, 1977, 303 p.
- Kobak K. I., *Bioticheskie komponenty ugle-rodного цикла* (Biotic components of the carbon cycle), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988, 248 p.
- Koerner R. M., Lundgaard L., Glaciers and global warming, *Geographie physique et Quaternaire*, 1995, Vol. 49, pp. 429–434.
- Kofman G. B., *Rost i forma derev'ev* (Growth and form of trees), Novosibirsk: Nauka, 1986, 211 p.
- Kuchko A. A., Matjushkin V. A., Zapasy i sostav organicheskogo veshhestva v razlichnyh tipah bereznjakov juzhnoj Karelii (Reserves and composition of organic matter in various types of birch forests of South Karelia), *Lesnye rastitel'nye resursy Karelii*, Petrozavodsk, 1974, pp. 24–36.
- Kurbanov Je. A., *Bjudzhet ugleroda sosnovyh nasazhdenij central'nogo lesotaksacionnogo rajona Rossii. Diss. dokt. s.-h. nauk* (The carbon budget of pine

- plantations in the central forest inventory area of Russia. Doctor's agric. sci. diss.), Joshkar-Ola, 2003, 336 с.
- Lawrence D., Coe M., Walker W., Verchot L., Vandecar K., The unseen effects of deforestation: biophysical effects on climate, *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022, Vol. 5, 756115.
- Moshnikov S. A., Anan`ev V. A., Matushkin V. A. Otsenka zapasov krupnykh drevnykh ostatkov v srednetaezhnykh sosnovykh lesakh Karelii (Estimation of coarse woody debris stock in middle taiga pine forests of Karelia), *Lesovedenie*, 2019, No 4, pp. 266–273.
- Moshnikov S. A., Romashkin I. V., Pekkoev A. N., Osobennosti struktury lesnogo pokrova na primere poligona intensivnogo urovnja «Kivach» (Respublika Karelija) (Features of the structure of forest cover on the example of the «Kivach» intensive level polygon (Republic of Karelia)), *Voprosy lesnoj nauki*, 2024, Vol. 7, No 2, Article 144.
- Osipov A. F., Kutjavin I. N., Manov A. V., Kuznecov M. A., Bobkova K. S., Zapasy i struktura fitomassy drevostoev severotaezhnykh sosnjakov Respubliki Komi (Reserves and structure of phytomass in northern taiga pine forest stands in the Komi republic), *IVUZ «Lesnoj zhurnal»*, 2022, No. 4, pp. 25–38. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-25-38
- Panja P., Deforestation, Carbon dioxide increase in the atmosphere and global warming: A modelling study, *International Journal of Modelling and Simulation*, 2021, Vol. 41, No 3, pp. 209–219.
- Prikaz Min. prirody RF «On approval of the methodology for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas uptake», available at: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (2024, 10 August).
- Pristova T. A., Fitomassa podleska v proizvodnykh listvennykh nasazhdenijah srednej tajgi (Undergrowth phytomass in the secondary deciduous stands of the middle taiga), *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2020, No 1, pp. 60–68. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/6
- Rasporjazhenie Min. prirody RF (Russian code of laws), available at: URL: <https://clck.ru/3FUU9z> (2024, 10 august).
- RITM ugleroda («RITM of Carbon» Consortium), available at: <https://ritm-c.ru/about> (2024, 10 September).

- Romanov V. S., Petrov E. G., Rusalenko A. I., Nazemnaja fitomassa sosnjakov BSSR po tipam lesa (Aboveground phytomass of BSSR pine forests by forest types), *Lesovedenie i lesnoe hozjajstvo: respublikanskij mezhdunarodnyj sbornik*, Minsk, 1976, No.11. pp. 3–15.
- Schimel D., Pavlick R., Fisher J.B., Asner G.P., Saatchi S., Townsend P., et al., Observing terrestrial ecosystems and the carbon cycle from space, *Global Change Biology*, 2015, Vol. 21, No 5, pp. 1762–1776.
- Sellers P. J., Schimel D. S., Moore III, B., Liu J., Eldering A., Observing carbon cycle-climate feedbacks from space, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, Vol. 115, No. 31, pp. 7860–7868.
- Shahgedanova M., Climate change and melting glaciers. Chapter 3 [in:] *The impacts of climate change*, Elsevier, 2021, pp. 53–84.
- Shorohova E. V., Shorohov A. A. Harakteristika klassov razlozhenija drevesnogo detrita eli, berezy i osiny v el'nikah srednej podzony tajgi (Characteristics of the decay classes of woody detritus of spruce, birch and aspen in the spruce forests of the middle taiga subzone), *Tr. SPbNILH*, 1999, No 1, pp. 17–24.
- Shorohova E., Kapitsa E., Kazartsev I., Romashkin I., Polevoi A., Kushnevskaya H., Tree species traits are the predominant control on the decomposition rate of tree log bark in a mesic old-growth boreal forest, *Forest Ecology and Management*, 2016, Vol. 377, pp. 36–45.
- Shorohova E., Kapitsa E., Stand and landscape scale variability in the amount and diversity of coarse woody debris in primeval European boreal forests, *Forest Ecology and Management*, 2015, Vol. 356, pp. 273–284.
- Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G., Nil'son S., Buluj Yu. I. *Tablicy i modeli hoda rosta i produktivnosti nasazhdenij osnovnyh lesoobrazujushhih porod Severnoj Evrazii: (normativno-spravochnye materialy)* (Tables and models of the course of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia: (normative reference materials)), Federal'noe agentstvo lesnogo hoz-va, Mezhdunar. int-prikladnogo sistemnogo analiza, Moscow, 2008, 886 p.
- Stahl G., Ringvall A., Fridman J., Assessment of coarse woody debris – a

- methodological overview, *Ecological Bulletins*, 2001, Vol. 49, pp. 57–71.
- Tetjuhin C. B., *Lesnaja taksacija i lesoustrojstvo: Normativno-spravochnye materialy po Severo-Zapadu Rossijskoj Federacii* (Forest measurement and forest management: Normative reference materials on the North-West of the Russian Federation) (Ed: S. V. Tetjuhin, V.N. Minaev, L. P. Bogomolova), Saint-Petersburg, SPbGLTA, 2004, 360 p.
- Tret'yakov N. V., Gorskiy P. V., Samoylovich G. G., *Spavochnik taksatora* (Forest inventory handbook), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1965, 460 p.
- Trofimova I. L., Koshheeva U. P., Nagimov Z. Ja., *Nadzemnaja fitomassa sosnovyh nasazhdenij v razlichnyh tipah lesa v uslovijah Srednego Urala* (Aboveground phytomass of pine plantations in various types of forest in the conditions of the Middle Urals), *Agrarnyj vestnik Urala*, 2012, No 8, pp. 55–58.
- Trofimova I. L., *Nadzemnaja fitomassa i ee godichnaja produkcija v spelyh sosnjakah Srednego Urala, avtoref. diss. kand. s.-h. nauk* (Aboveground phytomass and its annual production in ripe pine forests of the Middle Urals, candidate's agric. sci. thesis), Ekaterinburg, 2015, 24 p.
- Usol'cev V. A., *Fitomassa i pervichnaja produkcija lesov Evrazii* (Phytomass and primary forest products of Eurasia), Ekaterinburg, UrO RAN, 2010, 570 p.
- Usol'cev V. A., *Fitomassa lesov Severnoj Evrazii. Normativy i jelementy geografii* (Phytomass of forests of Northern Eurasia. Standards and elements of geography), Ekaterinburg, UrO RAN, 2002, 763 p.
- Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Gul'be T. A., Gul'be Ja. I., Ermolova L. S., *Opređenje zapasov ugleroda po taksacionnym pokazateljam drevostoev: metod pouchastkovoij allometrii* (Determination of carbon stocks by the forest inventory indicators of stands: the method of particle allometry), *Lesovedenie*, 1998, No 2, pp. 38–54.
- Volkov A. D., *Tipy lesa Karelii* (Types of Karelian forests), Petrozavodsk: KarNC RAN, 2008, 180 p.
- Warren W. G., Olsen P. E., A line transect technique for assessing logging waste, *Forest Science*, 1964, Vol. 10, pp. 267–276.
- Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Chestnyh O. V., *Dinamika balansa ugleroda v lesah federal'nyh okrugov Ros-*

sijskoj Federacii (Dynamics of carbon balance in forests of federal districts of the Russian Federation), *Voprosy lesnoj nauki*, 2018, No 1, pp. 1–24.

Zamolodchikov D. G., Ocenka pula ugleroda krupnyh drevesnyh ostatkov v lesah Rossii s uchetom vlijaniya pozharov i rubok (Estimation of the carbon pool of coarse woody debris in Russian forests, taking into account the impact

of fires and logging), *Lesovedenie*, 2009, No. 4, pp. 3–15.

Zamolodchikov D. G., Utkin A. I., Korovin G. N., Opredelenie zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdenij konvercionno-obemnym kojefficientam (Determination of carbon stocks by age-dependent conversion and volume coefficients), *Lesovedenie*, 1998, No. 3, pp. 84–93.

CARBON STOCKS IN PHYTOMASS OF WOODY PLANTS AND COARSE WOODY DEBRIS IN OLD-GROWTH BLUEBERRY PINE FORESTS IN THE NATURAL RESERVE «KIVACH»

A. N. Pekkoev, S. A. Moshnikov*, I. V. Romashkin, D. V. Teslya

*Forest Research Institute of Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences
Pushkinskaya st. 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russia*

*E-mail: moshniks@mail.ru

Received: 01.10.2024

Revised: 06.11.2024

Accepted: 19.11.2024

The study presents the results of the research on permanent test plots established in 2023 in 180-190-year-old bilberry-type pine forests growing on sandy soils on the test site of the first type of level intensity «Kivach» (Republic of Karelia, middle taiga subzone). The calculated data of phytomass and carbon (C) stock in the pools of stand, undergrowth, undergrowth phytomass, as well as in coarse woody debris (CWD) is presented. The obtained data of the stand phytomass and its C stock was analyzed by four different methods and the results were compared. In pine forests the stock of stand phytomass calculated based on the

regional data varies from 171 to 395 t ha⁻¹ and averages 254.2 t ha⁻¹, whereas its C stock varies from 85 to 197 t C ha⁻¹ with an average value of 126.5 t C ha⁻¹. The obtained results are by 7–10% lower than those obtained using other methods, which indicates the need for an additional research. Under the forest canopy, the undergrowth is represented mainly by pine and spruce and only sometimes with a minor participation of birch. The total undergrowth density varies from 0.2 to 4.9 thousand pcs ha⁻¹. Undergrowth is often absent or represented by an insignificant amount of common rowan or grey alder. The total C stock of undergrowth and undergrowth fluctuates from 0.2 to 2.3 t C ha⁻¹, that is only 0.57% of the phytomass C pool. The C stock in CWD in the studied pine forests varies from 9 to 60 m³ ha⁻¹ and averages 40 m³ ha⁻¹. The largest share of CWD is represented by lying and standing deadwood of Scots pine of the 2nd decay class. The average C stock in CWD is 9.2 t C ha⁻¹ with a variation range from 1.7 to 14.3 t C ha⁻¹. The study was conducted by the researchers of the Forest Research Institute of Karelian Research Centre RAS within the topic «Development of a system for land-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas flows in Russian Federation; providing for the creation of a data-registering system for recording data for climatically active substances and the carbon budget in forests and other terrestrial ecosystems» as part of the implementation of the most important innovative project of national importance (MIIPNI) «Unified national system for monitoring climatically active substances».

Keywords: MIIPNI, polygon «Kivach», pine forests, phytomass, carbon, woody detritus, undergrowth, understory

Рецензент: к.б.н., доцент Капица Е. А.