

Краткое сообщение

УДК 574.45;630.182.21

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-189-202

Оценка пулов углерода в древесно-кустарниковом ярусе постагрогенных лесных фитоценозов Кенозерского национального парка

*Д.Н. Клевцов*¹, д-р биол. наук; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

*А.С. Алимов*¹, ассистент; ResearcherID: [LWH-9669-2024](https://orcid.org/0009-0004-3485-0713),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3485-0713>

*Т.А. Парина*¹, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [AAL-5665-2021](https://orcid.org/0000-0002-2472-8392),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-8392>

*И.Б. Амосова*¹, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [LVS-7321-2024](https://orcid.org/0000-0003-1022-3470),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1022-3470>

*А.А. Копытов*², зам. директора по науч. работе; ResearcherID: [LWH-8698-2024](https://orcid.org/0009-0004-7593-4016),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7593-4016>


¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; d.klevtsov@narfu.ru, a.alimov@narfu.ru, t.parinova@narfu.ru, i.amosova@narfu.ru

²Национальный парк «Кенозерский», наб. Северной Двины, д. 78, г. Архангельск, Россия, 163000; ecosystem@kenozero.ru

Поступила в редакцию 09.01.25 / Одобрена после рецензирования 02.04.25 / Принята к печати 04.04.25

Аннотация. Оценены запасы углерода в компонентах надземной фитомассы древесно-кустарникового яруса мелколиственной стадии сукцессии для зарослей ольхи серой (*Alnus incana* L.) и ивы козьей (*Salix caprea* L.) с примесью березы (*Betula* sp.), произрастающих в постагрогенных условиях на территории Кенозерского национального парка. Исследованные биологические сообщества образованы на заброшенных пахотных землях возрастом до 30 лет в разнотравном типе лесорастительных условий. Установлено, что превосходящий запас углерода накапливается в древостое 16-летнего ольшаника разнотравного (31,11 т/га) по сравнению с запасом в ивняке разнотравном с замещением ольхой серой (18,67 т/га). Наибольший пул углерода приходится на компонент надземной фитомассы – стволовую древесину. Доля стволовой древесины от общей надземной фитомассы древостоя составляет 70,5 % в ольшанике и 66,7 % в ивняке. Фракция ветвей занимает второстепенное положение по углеродному запасу в древостоях ольшаника (13,2 %) и ивняка (11,7 %). Доля углерода, аккумулированного стволовой корой, в общем пуле углерода надземной фитомассы древостоя для каждого из двух исследованных типов леса – 11,1 %. На фракцию листвы приходится наименьшая часть пула углерода в 1-м ярусе фитоценоза: для ивняка – 3,3 % и для ольшаника – 3,6 %. Вклад фракции сухих сучьев неоднозначен, т. к. для ольшаника это наименьшая доля запаса углерода – 1,5 %, а для ивняка наблюдается повышение значения до 7,3 %, что можно объяснить распадом ивового ценоза и сменой его на ольшаник. В запасе углерода нижней части фитоценоза наибольшая доля приходится на элементы подлеска: деревья второй величины и кустарники (64,9 % для ольшаника и 54,5 % для ивняка).

© Клевцов Д.Н., Алимов А.С., Парина Т.А., Амосова И.Б., Копытов А.А., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Ключевые слова: пул углерода, надземная фитомасса, постагрогенные фитоценозы, постагрогенные земли, ивняк, ольшаник, ольха серая, *Alnus incana* L., ива козья, *Salix caprea* L., Кенозерский национальный парк

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания ФГБУ «Национальный парк “Кенозерский”» по теме «Оценка углеродного пула различных компонентов экосистем национального парка “Кенозерский” в хронорядях».

Для цитирования: Клевцов Д.Н., Алимов А.С., Парина Т.А., Амосова И.Б., Копытов А.А. Оценка пулов углерода в древесно-кустарниковом ярусе постагрогенных лесных фитоценозов Кенозерского национального парка // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 189–202. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-189-202>

Brief report

Assessment of Carbon Pools in the Tree and Shrub Layer of Postagrogenic Forest Phytocenoses of Kenozersky National Park

*Denis N. Klevtsov*¹, *Doctor of Biology*; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

*Alexander S. Alimov*¹✉, *Assistant*; ResearcherID: [LWH-9669-2024](https://orcid.org/0009-0004-3485-0713),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3485-0713>

*Tatyana A. Parinova*¹, *Candidate of Biology, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [AAL-5665-2021](https://orcid.org/0000-0002-2472-8392),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-8392>

*Irina B. Amosova*¹, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [LVS-7321-2024](https://orcid.org/0000-0003-1022-3470),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1022-3470>

*Andrey A. Kopytov*², *Associate Director of Scientific Work*; ResearcherID: [LWH-8698-2024](https://orcid.org/0009-0004-7593-4016),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7593-4016>

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; d.klevtsov@narfu.ru, a.alimov@narfu.ru, t.parinova@narfu.ru, i.amosova@narfu.ru

²Kenozersky National Park, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 78, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000; ecosystem@kenozero.ru

Received on January 9, 2025 / Approved after reviewing on April 2, 2025 / Accepted on April 4, 2025

Abstract. An assessment of carbon pools in the components of the aboveground phytomass of the tree and shrub layer of the small-leaved stage of succession is presented for thickets of gray alder (*Alnus incana* L.) and goat willow (*Salix caprea* L.) with an admixture of birch (*Betula* sp.) growing in postagrogenic conditions on the territory of Kenozersky National Park. The studied biological communities were formed on abandoned arable lands with an age of up to 30 years in herb-rich forest vegetation conditions. It was found that the largest carbon pool accumulates in the 16-year-old herb-rich alder stand (31.11 t/ha) compared with the stock in the herb-rich willow stand undergoing successional replacement by gray alder (18.67 t/ha). The largest share of the carbon pool is accounted for by the stem wood fraction. The share of stem wood in the total aboveground phytomass of the overstorey is 70.5 % in the alder stand and 66.7 % in the willow stand. The branch fraction occupies a secondary position in terms of carbon stock in the stands of alder (13.2 %) and willow (11.7 %). The share of carbon accumulated by the stem bark in the total carbon pool of the aboveground phytomass for both forest types is identical (11.1 %). The fraction of foliage accounts for the lowest

share of the carbon pool in the first tier: 3.3% for willow and 3.6 % for alder. The carbon stock in the fraction of dry twigs is variable; for alder, this is the smallest share of the carbon pool (1.5 %), while in willow, the value increases to 7.3 %, which can be explained by the disintegration of the willow phytocenosis and its replacement by gray alder. In the carbon pool of the understory, the largest share is accounted for by the second-size trees and shrubs (64.9 % for the alder stand and 54.5 % for the willow stand).

Keywords: carbon pool, aboveground phytomass, postagrogenic phytocenoses, postagrogenic lands, willow, alder, gray alder, *Alnus incana* L., goat willow, *Salix caprea* L., Kenozersky National Park

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the state task of the Federal State Budgetary Institution “Kenozersky National Park” on the topic “Assessment of the carbon pool of various components of the ecosystems of the Kenozersky National Park in chronosequences”.

For citation: Klevtsov D.N., Alimov A.S., Parinova T.A., Amosova I.B., Kopytov A.A. Assessment of Carbon Pools in the Tree and Shrub Layer of Postagrogenic Forest Phytocenoses of Kenozersky National Park. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 189–202. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-189-202>

Введение

С началом индустриальной эпохи атмосфера Земли стала подвергаться сильному антропогенному загрязнению – выбросы хозяйственной деятельности человека, ведущие к повышению концентрации парниковых газов за счет сжигания органических теплоемких веществ (нефти, природного газа и их производных). В результате данной антропогенной эмиссии в атмосферу планеты массово стали поступать агенты «парникового эффекта» – парниковые газы со свойством повышенного поглощения в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне [20, 51]. Основной состав парниковых газов представлен углекислым газом (CO₂), метаном (CH₄), закисью азота и др. Увеличение концентрации парниковых газов приводит к повышению средней температуры Земли, что, в свою очередь, обуславливает смещение показателей климата и, как следствие, изменения экосистем планеты [36–38, 41, 44, 48].

В потоке вещества и энергии существует комплекс естественных биогеохимических процессов, которые являются основой баланса углерода на нашей планете. Как правило, данные процессы складываются из эмиссии и секвестрации. Все процессы можно поделить на 2 группы: биологические, связанные с органическими за счет фиксации углекислого газа посредством фотосинтеза и эмиссии CO₂ при осуществлении дыхания аэробными организмами; и геохимические, обусловленные химическими реакциями без влияния живых организмов, за исключением антропогенного воздействия. На долю неорганической фиксации углекислого газа из атмосферы приходится около 0,1 %, фотосинтетической секвестрации CO₂ – 99,9 % [14, 22, 40]. Наибольшую долю в депонировании углерода среди наземных комплексов берут на себя лесные экосистемы [12, 43]. Разные типы леса отличаются по продуктивности и продолжительности аккумуляции углерода, но при этом являются одними из крупнейших биологических резервуаров стока углерода наряду с болотными экосистемами [28, 29, 35]. Таким образом, лесные экосистемы являются эффективным комплексным стабилизационным механизмом потоков углерода. Человек способен влиять

на данный механизм посредством сохранения климаксовых лесных сообществ и лесовосстановления. Также большим секвестрационным потенциалом углерода обладают постагрогенные фитоценозы [50].

Биологическая продуктивность – фундаментальное свойство биосферы, способность живого вещества воспроизводить биомассу и образовывать биотический покров [1]. Лесные сообщества играют важную роль в глобальных потоках веществ и энергии, существенно накапливают фитомассу в биосфере [5]. За счет процессов депонирования и эмиссии углерода леса участвуют в изменении климата Земли [2]. Потоки углерода можно связать с продуктивностью лесных экосистем, а именно с запасом древесины и ее приростом, т. к. основная часть фитомассы лесов сосредоточена в деревьях [25, 31].

Актуальность исследования углеродного пула лесов напрямую связана с проблемой глобального изменения климата и парникового эффекта. Сохранение и разведение лесов является одним из способов депонирования атмосферного углерода. Поэтому в последнее время все чаще разрабатываются природно-климатические проекты по сохранению, повышению продуктивности и разведению лесов. Изучение естественных процессов накопления фитомассы является перспективным направлением в познании природы лесных экосистем [10, 33]. Фундаментальные знания о процессах аккумуляции углерода могут стать основой для формирования системы углеродных единиц [5].

В связи с социально-экономическими изменениями и спадом сельскохозяйственного производства в России сократилась общая площадь пахотных, сенокосных и пастбищных земель, многие угодья выведены из оборота, в результате естественных процессов образовались залежи [16]. Залежи – сельскохозяйственные угодья, ранее использовавшиеся в первую очередь как пашни, но не применявшиеся больше 1 года начиная с осени под посев сельскохозяйственных культур [1, 3]. Для Российской Федерации изучение этой перспективы представляет особый интерес, т. к. по площади постагрогенных земель страна занимает 1-е место в мире. После распада Советского Союза множество колхозов перестали существовать. Ввиду отсутствия должного хозяйственного ухода и использования данные земли стихийно зарастают древесно-кустарниковой растительностью, например, березой [34]. Особо интересно изучение биологической продуктивности пионерных мелколиственных лесов, образованных ольхой серой или ивой козьей [7, 9, 19, 27, 42, 45, 46]. С точки зрения изучения углеродного потенциала данные стадии мелколиственных сукцессий с подобным породным составом вызывают интерес в сфере природно-климатических проектов [21, 39]. С учетом современной экологической повестки можно рассматривать такие земли как карбоновые фермы. Например, Е.Н. Наквасиной и Ю.Н. Шумиловой показано, что забрасывание пахотных земель под самозаращение лесом и формирование на них лесных насаждений на плодородных остаточно-карбонатных почвах средней тайги приводит к постепенному снижению углеродного пула в почве, но будет способствовать секвестрации углерода в фитомассе растительности, прежде всего многолетней древесной, а также в лесной подстилке [18].

Цель работы – оценить углеродный пул древесно-кустарникового яруса постагрогенных фитоценозов на территории Кенозерского национального парка.

Объекты и методы исследования

Предметом исследования являлась оценка запасов углерода в компонентах надземной фитомассы древесно-кустарниковой части фитоценоза (1-й ярус – древостой, 2-й ярус – подрост и подлесок) мелколиственной стадии сукцессии для зарослей ольхи серой (*Alnus incana* L.) и ивы козьей (*Salix caprea* L.) с примесью березы (*Betula* sp.), произрастающих в постагрогенных условиях на особо охраняемой природной территории, в Кенозерском национальном парке. Кенозерский национальный парк относится к таежной зоне Европейского Севера (юго-запад Архангельской области на стыке Каргопольского и Плесецкого районов).

Перед осуществлением полевых работ изучали документально-исторические материалы и выполняли рекогносцировочные обследования вблизи деревни Горбачиха. Установлено, что анализируемые сообщества произрастают на выбывших из хозяйственного оборота сельскохозяйственных угодьях.

На полевом этапе в пределах подобранных участков постагрогенных фитоценозов заложили 2 пробные площади – в ольшанике разнотравном и ивняке разнотравном (табл. 1), – на которых осуществляли сбор эмпирических данных. Методической базой при этом стали работы Н.Н. Соколова [23], Е.В. Мысина с соавт. [17], С.В. Третьякова с соавт. [26], Б.И. Грошева с соавт. [6], В.А. Усольцева с соавт. [29, 30] и А.С. Исаева с соавт. [13, 17]. После получения характеристик древостоя изучали подрост и подлесок. На 5 трансектах 2×10 м производили переучет всех элементов данного яруса фитоценоза с распределением по категориям высоты [8].

Таблица 1

Дендрометрическая характеристика постагрогенных фитоценозов
Dendrometric characteristics of postagrogenic phytocenoses

Пробная площадь	Элемент леса*	Среднее			Количество деревьев, шт./га	Полнота	Запас, м ³ /га
		диаметр, см	высота, м	возраст, лет			
Ольшаник	9Ол	5,8	7,1	16	6569	0,89	81,6
	1Ив	3,7	6,0	18	624	0,07	2,7
	Б(ед)	3,7	7,8	14	273	0,03	1,1
	<i>Итого</i>				7466	0,99	85,4
Ивняк	6Ив	5,4	9,9	30	3416	0,41	55,7
	4Ол	5,7	10,9	20	1858	0,47	40,6
	Б(ед)	6,4	11,2	29	245	0,06	5,9
	<i>Итого</i>				5519	0,94	102,2

Тип леса определяли с учетом основных положений учения о лесной типологии В.Н. Сукачева [24]. Исследование почвы на участках проводили с закладкой почвенного разреза глубиной до 50 см. Диагностику почв осуществляли по классификации 1977 г. в модификации В.С. Кашенко [15].

На каждой пробной площади отбирали по 5–6 модельных деревьев основной породы. Для сопутствующих пород, подроста и подлеска брали по 3–4 модельных дерева или куста. К модельным и средним объектам относили нормально развитые деревья или кустарники без признаков механических и био-

логических повреждений. После отбора и валки модельное или среднее дерево разделяли на фракции фитомассы: древесину ствола, живые ветви (без листьев), листву, кору и сухие сучья. Фракционную фитомассу (во влажном состоянии) измеряли электронным безменом с точностью до 100 г. Подрост и подлесок фракционировали на листву и безлистные побеги с последующим замером на весах с точностью до 1 г.

Данные модельных деревьев обрабатывали с использованием регрессионного метода оценки фитомассы, а для сопутствующей породы, подроста и подлеска применяли метод среднего дерева. В результате проведенных расчетов получили пофракционные запасы надземной фитомассы древесно-кустарникового яруса исследованных фитоценозов. Запасы углерода для компонентов фитоценозов определяли через фракционные запасы надземной фитомассы с применением конверсионных коэффициентов (табл. 2), которые показывают содержание депонированного углерода в 1 кг абсолютно сухой фитомассы. Коэффициенты подобраны на основе [5, 11, 32, 49] и распоряжения Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р (ред. от 20.01.2021).

Таблица 2

**Конверсионные коэффициенты запаса углерода в 1 г
абсолютно сухой фитомассы фракций [4]**
Conversion factors for carbon accumulation in 1 g of absolutely dry phytomass [4]

Порода	Древесина	Кора	Листва	Ветви	Сухие сучья
Береза	0,500	0,500	0,444	0,516	0,516
Ольха	0,500	0,500	0,454	0,517	0,517
Ива	0,503	0,503	0,485	0,500	0,500
Другие мелколиственные породы	0,503	0,503	0,485	0,500	0,500
Подрост и подлесок	0,500				

Результаты исследования и их обсуждение

В ольшанике разнотравном наблюдается преобладание подроста ольхи серой жизнеспособного состояния. Подрост сопутствующих пород находится в неперспективном состоянии, его количество мало. Стоит отметить наличие подроста осины, которая отсутствует в верхнем ярусе. Возможно, в будущем здесь сформируется осиновый древостой. На данной территории наблюдается смена луговых сообществ ивой или ольхой, с постепенным замещением ивовых ценозов ольховыми. На более поздних стадиях облесения ольховый ценоз, вероятно, подвергнется распаду со сменой его березовым или осиновым древостоем с дальнейшим заселением ели.

В ивняке разнотравном подрост доминанта-эдификатора (ива козья) почти отсутствует, его состояние неудовлетворительное. Также важно отметить преобладание здорового подроста ольхи, что говорит о смене основной породы – в перспективе ивовый ценоз подвергнется распаду со сменой его на ольховый древостой. Кроме того, отмечено малое количество жизнеспособного подроста сопутствующей породы (березы) и единичное присутствие угнетенного подроста ели, которая отсутствует в верхнем ярусе.

Зафиксировано наличие подлесочных деревьев второй величины (черемухи и рябины). На обеих пробах черемуха преобладает. Также обнаружены

кусты смородины красной. Подлесок в ольшанике составлен 5 породами с явным количественным преобладанием черемухи и малины. Подлесок ивняка представлен 3 породами с численным превосходством черемухи. Таким образом, породное разнообразие в данном ярусе низкое. Черемуха как дерево второй величины превалирует по количественным показателям и средней высоте. В целом для молодой мелколиственной стадии сукцессии элементы подлеска не выражены и характеризуются незначительным запасом фитомассы.

В результате проведенного исследования получены пофракционные запасы абсолютно сухой фитомассы древесного и кустарникового ярусов фитоценозов на пробах. Запасы депонированного углерода рассчитывали по данным о запасах абсолютно сухой фитомассы и коэффициентам конверсии депонированного углерода на единицу абсолютно сухой фитомассы. Запасы депонированного углерода по исследуемому фракционному составу экстраполированы на 1 га данных типов фитоценозов (табл. 3, 4).

Таблица 3

Запасы углерода в постагрогенном ольшанике, кг/га
Carbon reserves of studied post-agrogenic phytocenoses, kg/ha

Фракция, кг/га	Древостой			Подрост			Подлесок				
	Ольха	Ива	Береза	Ольха		Ива	Рябина	Черемуха	Шиповник	Смородина	Малина
				средний	мелкий						
Сухие сучья	444,44	15,60	2,82	–	–	–	–	–	–	–	–
Древесина	21418,33	316,90	161,02	9,44	1,21	0,36	3,85	9,28	1,16	0,04	0,44
Кора	3361,60	56,48	36,84	4,26		0,20	1,53				
Ветви	4017,98	40,55	40,84	2,41	0	0,35	0	16,63	0	0	0
Листва	1097,21	12,10	20,60	2,78	0,66	0,42	1,53	4,90	0,80	0,03	0,55
<i>Итого</i>	30339,56	441,62	262,11	18,87	1,87	1,32	6,90	30,80	1,96	0,07	0,99

Таблица 4

Запасы углерода в постагрогенном ивняке, кг/га
Carbon reserves of studied post-agrogenic phytocenoses, kg/ha

Фракция, кг/га	Древостой			Подрост				Подлесок		
	Ива	Ольха	Береза	Ольха		Береза	Ива (0,85)	Смородина	Рябина	Черемуха
				средний	мелкий					
Сухие сучья	1211,41	29,25	114,81	–	–	–	–	–	–	–
Древесина	7736,47	3883,00	799,78	13,73	–	0,74	0,74	0,10	0,13	16,13
Кора	1264,06	682,02	128,24							
Ветви	1773,70	304,85	91,54							
Листва	382,58	204,32	27,13	3,74	–	0,22	0,04	0,20	0,01	6,41
<i>Итого</i>	12368,21	5103,44	1161,50	17,46	–	0,96	0,78	0,30	0,14	22,54

Общий пул углерода в 1-м и 2-м ярусах (древостой, подрост и подлесок) ольшаника составил 31 106,07 кг/га. Наибольшую долю по запасу углерода в наземной части данного фитоценоза занимает основная порода (эдификаторный вид) – ольха серая. Пул депонированного ольхой серой углерода – 30 339,56 кг/га (97,54 % от общего запаса древесно-кустарникового яруса).

При разделении основной породы на фракции получаем следующие относительные значения (рис. 1): стволовая древесина – 68,9 % (21 418,33 кг/га); ветви – 13,0 % (4017,98 кг/га); кора – 10,8 % (3361,6 кг/га); листва – 3,6 % (1097,21 кг/га); сухие сучья – 1,5 % (444,44 кг/га). Для фракций фитомассы сопутствующих пород (ива и береза) запас углерода составляет 2,26 % (703,7 кг/га) от общего запаса в 1-м и 2-м ярусах. Из них 1,42 % (441,62 кг/га) приходится на общий запас депонированного ивой козьей углерода и 0,84 % (262,11 кг/га) аккумулирует береза. Запас углерода в подросте и подлеске составляет 42,2 кг/га, что равняется 0,2 % от общего пула углерода древесно-кустарникового яруса (рис. 2).

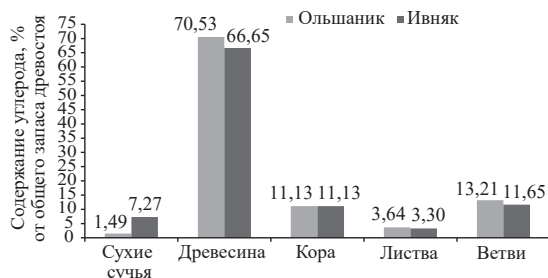


Рис. 1. Соотношение углерода по фракциям древесности на 1 га для 1-го яруса

Fig. 1. Carbon ratio by fractions of forest stand per 1 ha

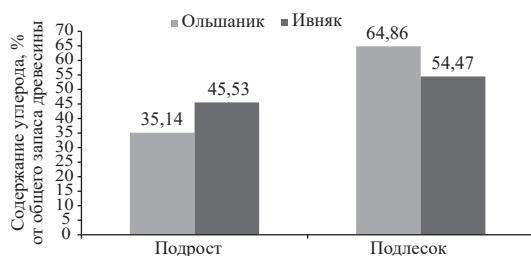


Рис. 2. Запасы углерода в подросте и подлеске

Fig. 2. Carbon reserves in sapling and undergrowth

Общий пул углерода в древесно-кустарниковом ярусе ивняка – это 18 675,32 кг/га. Наибольшую долю запаса углерода имеет ива козья – 12 368,21 кг/га (66,2 % от общего запаса в 1-м и 2-м ярусах). При разделении основной породы на фракции получаем следующие относительные значения (рис. 1): стволовая древесина – 41,4 % от общего запаса депонированного углерода в древесно-кустарниковом ярусе (7736,47 кг/га); ветви – 9,5 % (1773,7 кг/га); кора – 6,8 % (1264,06 кг/га); листва – 2,0 % (382,6 кг/га); сухие сучья – 6,5 % (1211,41 кг/га). Отмечается повышенное содержание сухих сучьев, что свидетельствует о снижении жизненного состояния основной породы. На смену распадающемуся ивняку приходит сопутствующая на данной стадии сукцессии порода – ольха серая – 27,3 % (5103,4 кг/га) от общего запаса депонированного углерода. Фитомасса березы, еще одной сопутствующей породы, занимает 6,2 % (1161,5 кг/га). Пул углерода подроста и подлеска – это 0,2 % (62,78 кг/га) от общего запаса углерода в 1-м и 2-м ярусах (рис. 2).

Исходя из полученного относительного соотношения фракций в молодых мелколиственных лесах, произрастающих на залежах, можно отметить преобладание запасов углерода в стволовой древесине. Сравнение исследованных фитоценозов между собой показывает снижение содержания углерода во фракциях стволовой древесины и ветвей в ивняке по сравнению с ольшаником. Вероятно, это связано с увеличением доли сухих сучьев в ивняке. Данное соотно-

шение обусловлено биологическими особенностями ивы козьей, т. к. в данном возрасте наблюдается интенсивное очищение ствола за счет отмирания ветвей (это становится причиной потери части углерода в данной фракции). Также отмечаются признаки замещения ивы ольхой серой, для которой процесс усыхания не так выражен. Можно предположить, что ольшаник более эффективен в депонировании углерода по сравнению с ивняком.

На данном этапе развития исследуемых сообществ большая доля углерода содержится в фитомассе подлеска, а наименьшая – в фитомассе подроста (все породы древостоя). Подлесок представлен порослью, состав которой имеет некоторые различия (в ольшанике – 5 видов, в ивняке – 3, однако эти виды характерны и для ольшаника). По древесно-кустарниковому ярусу исследованных постагрогенных фитоценозов подрост и подлесок характеризуются незначительным запасом углерода в сравнении с древостоем.

Заключение

На залежах, зарастающих лесными мелколиственными породами (ольхой серой, ивой козьей и березой), в структуре общего запаса углерода надземной части древесно-кустарникового яруса наибольшую долю составляет древостой, в котором основная часть накопленного углерода приходится на фракцию стволовой древесины. Подрост, деревья второй величины, кустарниковые и полукустарниковые виды во 2-м ярусе для данной стадии сукцессии представлены незначительно при депонировании низкого относительного запаса углерода. В углеродном пуле данного яруса наибольшую долю занимают элементы подлеска. Данные по углеродному пулу исследованных постагрогенных фитоценозов дают представление о соотношении запасов углерода на залежных землях в различных фракциях надземной фитомассы. Полученные результаты целесообразно учитывать при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем, а также при реализации природоохранных проектов и исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.

Bazilevich N.I. Biological Productivity of Ecosystems of Northern Eurasia. Moscow, Nauka Publ., 1993. 295 p. (In Russ.).

2. *Ваганов Е.А., Швиденко А.З.* Оценка вклада сибирских регионов в глобальный экологический баланс (на примере вклада сибирских лесов в кругооборот углерода) // Макрорегион Сибирь: проблемы и перспективы развития: сб. науч. тр. М.: НИЦ ИНФРА-М; Красноярск: СФУ, 2014. С. 39–47.

Vaganov E.A., Shvidenko A.Z. Assessment of the Contribution of Siberian Regions to the Global Ecological Balance (on the Example of the Contribution of Siberian Forests to the carbon cycle). *Macro-region Siberia: Problems and Prospects of Development. Collection of Scientific Papers.* Moscow, NITS INFRA-M Publ., Krasnoyarsk, SIBFU Publ., 2014, pp. 39–47. (In Russ.).

3. *Варфоломеев Л.А., Цымбалюк Г.А.* Почвенно-земельный фонд Архангельской области как составляющая землепользования // Почва как природный ресурс севера: материалы VII Сибирцев. чтений. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 34–40.

Varfolomeev L.A., Tsybalyuk G.A. The Soil and Land Fund of the Arkhangelsk Region as a Component of Land Use. Soil as a Natural Resource of the North. *Proceedings*

of the VII Sibirtsev Readings. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2005, pp. 34–40. (In Russ.).

4. Войтов И.В., Рожков Л.Н. Проект «Развитие лесного сектора Республики Беларусь»: Министерство лесного хозяйства республики Беларусь. Минск: БГТУ, 2018. 135 с.

Voytov I.V., Rozhkov L.N. *The Project "Development of the Forest Sector of the Republic of Belarus"*. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Minsk, BSTU Publ., 2018. 135 p. (In Russ.).

5. Гавриков В.Л., Хлебопрос Р.Г. Киотский лес и экономическая возможность национального «углеродного» рынка // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер.: Гум. науки. 2015. Т. 8, № 5. С. 144–153.

Gavrikov V.L., Khlebopros R.G. The Kyoto Forest and the Economic Opportunity of the National "Carbon" Market. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya Gumanitarnye nauki = Journal of the Siberian Federal University. Humanities Series*, 2015, vol. 8, no. 5, pp. 144–153. (In Russ.).

6. Грошев Б.И., Синицын С.Г., Мороз П.И., Сеперович Н.П. Лесотаксационный справочник. М: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.

Groshev B.I., Sinityn S.G., Moroz P.I., Seperovich N.P. *Forest Inventory Handbook*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 288 p. (In Russ.).

7. Гульбе А.Я., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А. Надземная фитомасса и годовичная продукция древостоев ольхи серой на брошенной пашне в подзоне Южной тайги (Ярославская область) // Актуальн. проблемы лесн. комплекса. 2008. № 21-3. С. 25–29.

Gulbe A.Ya., Gulbe Ya.I., Gulbe T.A. Aboveground Phytomass and Annual Production of Stands of Gray Alder on Abandoned Arable Land in the Subzone of the Southern Taiga (Yaroslavl Region). *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = Relevant Problems of the Forest Complex*, 2008, no. 21(3), pp. 25–29. (In Russ.).

8. Гусев И.И., Калинин В.И., Неволин О.А. и др. Полевой справочник таксатора: для таежных лесов Европейского Севера / сост. И.И. Гусев; под общ. ред. В.И. Левина. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. 196 с.

Gusev I.I., Kalinin V.I., Nevolin O.A. et al. *Field Guide of the Taxator: For the Taiga Forests of the European North*. Vologda, Severo-Zapadnoe Knizhnoe Izdatel'stvo Publ., 1971. 196 p. (In Russ.).

9. 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 // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 65–76.

Danilov D.A., Yakovlev A.A., Suvorov S.A., Krylov I.A., Korchagov S.A., Khamitov R.S. Formation of Aboveground Phytomass of Deciduous Tree Species on Postagrogenic lands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 1, pp. 65–76. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-65-76>

10. Ефимов В.И. Реальность углеродного следа в глобальном изменении климата // Жизнь Земли. 2021. Т. 43, № 3. С. 328–335.

Efimov V.I. The Reality of the Carbon Footprint in Global Climate Change. *Zhizn' zemli = Life of the Earth*, 2021, vol. 43, no. 3, pp. 328–335. (In Russ.).

https://doi.org/10.29003/m2437.0514-7468.2020_43_3/328-335

11. 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.

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. Determination of Carbon Reserves by Age-Dependent Plantings Conversion-Volume Coefficients. *Lesovedenie = Forestry Science*, 1998, no. 3, pp. 84–93. (In Russ.).

12. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого

газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экол. политики России, 1995. 156 с.

Isaev A.S., Korovin G.N., Suhih V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ecological Problems of Carbon Dioxide Absorption Through Reforestation and Afforestation in Russia*. Moscow, Tsentr ehkologicheskoi Politiki Rossii Publ., 1995. 156 p. (In Russ.).

13. Исаев А.С., Овчинникова Т.М., Суховольский В.Г. Распределение фитомассы деревьев и насаждений по фракциям (модель конкуренции) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2007. Т. 21. С. 232–250.

Isaev A.S., Ovchinnikova T.M., Sukhovolsky V.G. The Fractional Distribution of Tree and Stand Phytomass: A Competition Model. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* = Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems, 2007, vol. 21, pp. 232–250. (In Russ.).

14. Исаев А.С., Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23.

Isaev A.S., Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Chestnykh O.V., Zukert N.V. Forests of Russia as a Reservoir of Organic Carbon of the Biosphere. *Lesovedenie* = Forestry Science, 2001, no. 5, pp. 8–23. (In Russ.).

15. Крышень А.М., Федорец Н.Г., Преснухин Ю.В., Синькевич С.М. Методы классифицирования и описания лесных фитоценозов и почв. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 58 с.

Kryshen A.M., Fedorets N.G., Presnukhin Yu.V., Sinkevich S.M. *Methods of Classification and Description of Forest Phytocenoses and Soils*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2003. 58 p. (In Russ.).

16. Курганова И.Н., Лопес Де Гереню В.О. К чему ведет сокращение пахотных земель // Природа. 2009. № 11(1131). С. 20–27.

Kurganova I.N., Lopez De Guereu V.O. What Reduction of Arable Land Brings about. *Priroda* = Nature, 2009, no. 11(1131), pp. 20–27. (In Russ.).

17. Мысин Е.В., Рыжова Н.В., Шутов В.В. Особенности таксации молодняков ивы козьей и ольхи серой // Твои века, Кострома: материалы XII регион. (с Междунар. участием) студ. науч.-практ. конф. Кострома: Костром. гос. ун-т, 2020. С. 76–78.

Mysin E.V., Ryzhova N.V., Shutov V.V. Features of Taxation of Young Goat Willow and Gray Alder. *Your Centuries, Kostroma: Materials of the XII Regional (With International Participation) Student Scientific and Practical Conference*, Kostroma, Kostroma State University Publ., 2020, pp. 76–78. (In Russ.).

18. Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 46–59.

Nakvasina E.N., Shumilova Yu.N. Dynamics of Carbon Reserves in the Formation of Forests on Postagrogenic Lands. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 1, pp. 46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59>

19. Парамонов А.А., Усольцев В.А., Третьяков С.В., Цветков И.В., Цепордей И.С. Обобщенные модели фитомассы деревьев ивы (род *Salix* L.): мета-анализ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 64–75.

Paramonov A.A., Usoltsev V.A., Tretyakov S.V., Tsvetkov I.V., Tsepordey I.S. Generalized Models of Phytomass of Willow Trees (Genus *Salix* L.): Meta-Analysis. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 5, pp. 64–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-64-75>

20. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс: справочное пособие / под ред. А.О. Кокорина. М.: WWF России, 2004. 136 с.

Greenhouse Gases – A Global Environmental Resource: A Reference Guide. Moscow, WWF Rossii Publ., 2004. 136 p. (In Russ.).

21. Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А. Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов в Костромской области // Лесоведение. 2015. № 4. С. 307–317.

Ryzhova I.M., Erokhova A.A., Podvezennaya M.A. Changes in Carbon Stocks in Postagrogenic Ecosystems as a Result of Natural Forest Restoration in the Kostroma Region. *Lesovedenie = Forestry Science*, 2015, no. 4, pp. 307–317. (In Russ.).

22. Саковец В.И., Иванчиков А.А. Запасы и потоки углерода в лесах Карелии // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы Третьих Мелеховских чт., посвящ. 100-летию со дня рождения И.С. Мелехова. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 14–16.

Sakovets V.I., Ivanchikov A.A. Carbon Stocks and Fluxes in Forests of Karelia. *Problems of Forest Science and Forestry: Proceedings of the III Melekhov Readings Dedicated to the 100th Anniversary of I.S. Melekhov*, Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2005, pp. 14–16. (In Russ.).

23. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.

Sokolov N.N. *Methodological Guidelines for Diploma Design on the Taxation of Trial Areas*. Arkhangelsk, RIO ALTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.).

24. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.

Sukachev V.N., Sonn S.V. *Methodological Guidelines for the Study of Forest Types*. Moscow, AN SSSR Publ., 1961. 144 p. (In Russ.).

25. Тишин Д.В. Оценка продуктивности древостоев. Казань: Казанск. ун-т, 2011. 31 с.

Tishin D.V. *Evaluation of the Productivity of Stands*. Kazan, Kazan University Publ., 2011. 31 p. (In Russ.).

26. Третьяков С.В., Богданов А.П., Демиденко С.А., Коптев С.В., Ильинцев А.С., Тимофеева А.В., Федотов А.В. Нормативы таксации насаждений ольхи серой на Европейском Севере // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2014. С. 177–181.

Tretyakov S.V., Bogdanov A.P., Demidenko S.A., Koptev S.V., Ilincev A.S., Timofeeva A.V., Fedotov A.V. Standards of Taxation of Gray Alder Plantations in the European North. *Environmental Problems of the Arctic and Northern Territories. An Interuniversity Collection of Scientific Papers*, Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Named After M.V. Lomonosov Publ., 2014, pp. 177–181. (In Russ.).

27. Третьяков С.В., Коптев С.В., Карaban А.А., Парамонов А.А., Давыдов А.В. Возрастная динамика нормальных древостоев ольхи серой в таежной зоне северо-востока европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 6. С. 70–80.

Tretyakov S.V., Koptev S.V., Karaban A.A., Paramonov A.A., Davydov A.V. Age Dynamics of Normal Stands of Gray Alder in the Taiga Zone of the North-East of the European Part of Russia. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 6, pp. 70–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-70-80>

28. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексева, Р.А. Бердси. Красноярск: ИЛ СО РАН, 1994. 224 с.

Carbon in Ecosystems of Forests and Swamps of Russia. Eds. V.A. Alekseev, N.A. Berdsi. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., 1994. 224 p. (In Russ.).

29. Усольцев В.А., Азаренок В.А., Баракoвских Е.В., Накай Н.В. Депонирование и динамика углерода в фитомассе лесов Уральского региона // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1(41). С. 108–115.

Usoltsev V.A., Azarenok V.A., Barakovskikh E.V., Nakai N.V. Carbon Deposition and Dynamics in the Phytomass of Forests of the Ural Region. *Lesnaya Taksatsiya i Lesoustroistvo = Forest Taxation and Forest Management Publ.*, 2009, no. 1(41), pp. 108–115. (In Russ.).

30. Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. С. 147.
Usoltsev V.A., Zalesov S.V. *Methods for Determining Biological Productivity of Plantings*. Yekaterinburg, Ural State Forestry Engineering University Publ., 2005. P. 147. (In Russ.).
31. Уткин А.И. Изучение пулов и потоков углерода на уровнях экосистемы и территориального комплекса // Стационарные лесоэкологические исследования: методы, итоги, перспективы. Сыктывкар, 2003. С. 9–12.
Utkin A.I. The Study of Carbon Pools and Fluxes at Ecosystem and Territorial Complex Levels. *Stationary Forest-Ecological Research: Methods, Results, Prospects*. Syktyvkar, 2003, pp. 9–12. (In Russ.).
32. Фадеев А.Н., Жгулева О.А. Методика оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода // Вестн. Марийск. гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 1. С. 88–92.
Fadeev A.N., Zhguleva O.A. Methodology for Assessing the Ability of Forest Plantations to Deposit Carbon. *Vestnik Mariiskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya "Les. Ekhkologiya. Prirodopol'zovanie"* = Bulletin of the Mari State Technical University. Series. "Forest. Ecology. Environmental Management", 2009, no. 1, pp. 88–92. (In Russ.).
33. Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс: Российская академия наук, Институт народнохозяйственного прогнозирования. М.: Научный консультант, 2017. 82 с.
Fedorov B.G. *Russian Carbon Balance*. Moscow, Nauchnyi konsul'tant Publ., 2017. 82 p. (In Russ.).
34. Филиппов А.В. Оценка запасов углерода в фитомассе березняков Северной Евразии и их география: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2005. 24 с.
Filippov A.V. *Assessment of Carbon Reserves in the Phytomass of Birch Forests of Northern Eurasia and Their Geography*. Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Yekaterinburg, 2005. 24 p. (In Russ.).
35. Щепаченко Д.Г., Швиденко А.З., Шалаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России: моногр. М.: Московск. гос. ун-т леса, 2008. 296 с.
Shchepashchenko D.G., Shvidenko A.Z., Shalaev V.S. *Biological Productivity and Carbon Budget of Larch Forests of the North-East of Russia*. Moscow, Moscow State Forest University Publ., 2008. 296 p. (In Russ.).
36. Arndt D.S., Blunden J., Willett K.M. State of the Climate in 2015. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2016, vol. 97, no. 8. 300 p.
<https://doi.org/10.1175/2016BAMSStateoftheClimate.1>
37. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
38. Feulner G. Global Challenges: Climate Change. *Global Challenges*, 2015, no. 1, iss. 1, pp 5–6. <https://doi.org/10.1002/gch2.1003>
39. Harmon M.E., Franklin J.F., Ferrell W.K. Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests. *Science*, 1990, vol. 247, pp. 699–702.
<https://doi.org/10.1126/science.247.4943.699>
40. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forests in Northern Ontario, Canada. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, iss. 4, pp. 563–582.
<https://doi.org/10.14214/sf.128>
41. Karl T.R., Trenberth K.E. Modern Global Climate Change. *Science*, 2003, vol. 302, pp. 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>
42. Kurganova I.N., Telesnina V.M., Lopes de Gerenyu V.O., et al. The Dynamics of Carbon Pools and Biological Activity of Retic Albic Podzols in Southern Taiga During the Postagrogenic Evolution. *Eurasian Soil Science*, 2021, vol. 54, pp. 337–351.
<https://doi.org/10.1134/S1064229321030108>

43. Marland G., Marland S. Should We Store Carbon in Trees? *Water Air Soil Pollut*, 1992, vol. 64, pp. 181–195. <https://doi.org/10.1007/BF00477101>
44. Pandey D., Agrawal M., Pandey J.S. Carbon Footprint: Current Methods of Estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, vol. 178, pp. 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
45. Rytter L., Rytter R. Growth and Carbon Capture of Grey Alder (*Alnus Incana* (L.) Moench.) Under North European Conditions – Estimates Based on Reported Research. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 373, pp. 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.034>
46. Tang X., Wang Y., Zhou G., Zhang D., Liu Sh., Liu Sh., Zhang Q., Liu J., Yan J. Different Patterns of Ecosystem Carbon Accumulation Between a Young and an Old-Growth Subtropical Forest in Southern China. *Plant Ecology*, 2011, vol. 212, pp. 1385–1395. <https://doi.org/10.1007/s11258-011-9914-2>
47. Thomas S.C., Martin A.R. Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests*, 2012, no. 3, pp. 332–352. <https://doi.org/10.3390/f3020332>
48. Vakulenko N.V., Nigmatullin R.I., Sonechkin D.M. On the Problem of the Global Climate Change. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2015, vol. 40, pp. 629–634. <https://doi.org/10.3103/S1068373915090083>
49. Weggler K., Dobbertin M., Jüngling E., Kaufmann E., Thürig E. Dead Wood Volume to Dead Wood Carbon: The Issue of Conversion Factors. *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, pp. 1423–1438. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0610-0>
50. Weissgerber M., Chanteloup L., Bonis A. Carbon Stock Increase During Post-agricultural Succession in Central France: No Change of the Superficial Soil Stock and High Variability Within Forest Stages. *New Forests*, 2024, vol. 55, pp. 1533–1555. <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10044-y>
51. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016*. World Meteorological Organization (WMO), 2017. 28 p.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest