

ОСОБЕННОСТИ ДЕПониРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Коротков^{1, 2✉}, В.П. Захаров³, Д.В. Лежнев², И.Н. Шматков⁴

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²Институт лесоведения Российской академии наук, Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

³ГАУ МО «Мособллес», Россия, 143082, Московская область, Одинцовский городской округ, д. Раздоры, Рублево-Успенское шоссе, 1-й километр, д. 1А

⁴АНО «Зеленый свет», Россия, 248010, Калужская обл., г. Калуга, ул. Чичерина, д. 29, пом. 55

skorotkov-71@mail.ru

Представлены результаты комплексной оценки депонирования углерода лесными культурами ели европейской (*Picea abies* (L.) H.Karst.) в раннем возрасте на территории восточной части Вологодской области. Проанализирован видовой состав древесно-кустарниковой растительности на вырубках. Приведено описание видового состава живого напочвенного покрова на пробных площадях, заложенных в участках лесных культур различного возраста. Определена общая фитомасса лесных культур ели в зависимости от их возраста. Установлено увеличение ежегодных приростов по высоте после достижения возраста старше 5 лет. Приведены основные таксационные характеристики и количественные данные по объему депонирования углерода в лесных культурах ели возрастом от 1 до 8 лет. **Ключевые слова:** депонирование углерода, лесные культуры, ель европейская, *Picea abies* (L.) H. Karst., фитомасса, изменение климата, конверсионный коэффициент, Вологодская область

Ссылка для цитирования: Коротков С.А., Захаров В.П., Лежнев Д.В., Шматков И.Н. Особенности депонирования углерода лесными культурами на примере восточной части Вологодской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39

В настоящее время большое внимание уделяется значению лесных насаждений в противодействии глобальным изменениям климата [1]. Леса способны к долгосрочному изъятию углерода из атмосферы, следовательно, лесовосстановление и сохранение лесных ландшафтов, предотвращение деградации лесов являются эффективной мерой компенсации углеродного следа и антропогенных воздействий, приведенных к углеродному эквиваленту [2, 3].

Современные изменения климата характеризуются некоторыми важными тенденциями. В частности, изменения по отдельным регионам могут существенно отличаться от глобальных трендов. Согласно опубликованным данным [4–6], среднегодовая аномалия температуры в целом по Российской Федерации достигла около 1,6 °С, что выше глобальной на 0,9 °С, если сравнить с доиндустриальным периодом. В отдельных регионах отмечается рост среднегодовой температуры воздуха, а также увеличение вегетационного периода и повышение частоты опасных природных явлений [7].

Согласно результатам сравнения данных различных моделей климатических изменений на ближайшую перспективу (СМIP6), в течение XXI в. температура и влажность воздуха, по усредненным данным, на территории Северной Евразии продолжают активный рост, в отличие от всей остальной территории [8, 9].

Накопление углерода лесными экосистемами можно рассматривать в качестве одной из важнейших экосистемных функций [10, 11]. По данным исследований [12], проведенных с использованием обратного моделирования, объем запаса углерода в год на суше оценивается примерно в 600...720 Мт С/год. При этом экосистемное и ландшафтное разнообразие лесов обуславливает неоднородность накопления углерода в лесных культурах в зависимости от различных условий. В связи с этим их создание рассматривается как один из инструментов достижения соответствующих целей в сфере лесоклиматических проектов [13].

Изменения климата вызывают ускорение сукцессионных процессов, что влечет за собой трансформацию растительных экосистем [14], а также способствует их восстановлению после

различных нарушений [15, 16]. Изменения климатических показателей в первую очередь влияют на формирование будущих лесов [17].

Леса выполняют различные экологические функции, в том числе климаторегулирующие, которые на локальном и глобальном уровне смягчают последствия изменений климата. Это следует учитывать на всех этапах формирования лесных экосистем: от создания лесных культур — до рубок ухода в насаждениях старшего возраста. От качества проведения лесокультурных работ зависят эффективность лесовосстановления, продуктивность и устойчивость формируемых насаждений [18–20].

Ключевое значение в качестве наземного поглотителя углерода имеет надземная биомасса леса [21]. Определяющим фактором появления мертвой древесины, формирования лесной подстилки и накопления углерода почвой, с одной стороны, и самостоятельным резервуаром углерода — с другой, является древостой [22]. Для корректной оценки объема запаса углерода, депонированного в виде фитомассы деревьев в насаждениях, созданных в результате лесовосстановления или лесоразведения, необходимо проведение исследований депонирующей способности искусственных насаждений различного возраста.

При оценке бюджета углерода в фитомассе насаждений, как правило, используются данные о ходе роста и биологической продуктивности лесов, учитывающие местные особенности развития древостоев и применяемых технологий лесокультурных работ [23–25]. Однако данный подход имеет существенный недостаток, важный для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования, — данные по динамике хода роста и продуктивности насаждений, как правило, включают в себя данные о насаждениях в возрасте от 20 лет (реже от 10) [26].

Таким образом, оценить результативность действий по компенсации углеродного следа до достижения насаждениями возраста 20 лет можно лишь используя некие ретроспективные оценки достижения целевых показателей насаждения. Срок 20 и даже 10 лет — существенный для реализации лесоклиматического проекта, и для частного сектора экономики такой срок компенсации углеродного следа обычно не является оптимальным. В условиях экологической и климатической нестабильности, быстро изменяющейся обстановки и конъюнктуры рынка важно иметь следующие возможности:

1) оценивать эффективность предпринимаемых мер по компенсации углеродного следа посредством создания лесных насаждений в раннем возрасте;

2) прогнозировать объемы депонирования углерода в лесных насаждениях в возрасте до 10 лет.

Для решения этой проблемы необходимо получить данные о ходе роста и биологической продуктивности лесных культур в раннем возрасте. Это позволит точнее понимать динамику накопления углерода в фитомассе на ранних этапах формирования древостоя, лучше оценивать эффективность предпринимаемых мер по сокращению углеродного следа и повысить точность прогнозирования при внедрении новых проектов. На сегодняшний день особенности накопления углерода в фитомассе лесных культур в раннем возрасте и методы их оценки исследованы недостаточно.

Цель работы

Цель работы — проведение комплексной оценки депонирования углерода лесными культурами ели европейской (*Picea abies* (L.) H.Karst.) в возрасте от 1 до 8 лет на территории Вологодской области.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали девять участков лесных культур ели европейской, созданные различным посадочным материалом в восточной части Вологодской области.

Территория Вологодской области занимает северную часть Восточно-Европейской равнины на высоте 150...200 м н. у. м. Для рельефа характерно чередование невысоких моренных холмов, гряд и возвышенностей с обширными, местами заболоченными, низинами. Рельеф восточной части региона представляет собой волнисто-увалистую равнину. Ледниковые формы здесь практически не сохранились. Преобладают формы рельефа, образованные поверхностным стоком. Многочисленные притоки р. Северная Двина и р. Волга расчленили эту возвышенность на отдельные увалистые равнины [27].

Тотемское и Тарногское лесничества Вологодской области по лесорастительному районированию расположены в таежной зоне южно-таежного лесного района европейской части Российской Федерации [28]. Территории лесничеств находятся в пределах Скандинавско-Русской провинции Европейской области умеренного пояса. Основным типом почв в регионе проведения работ являются подзолистые почвы, представленные подтипами типичных подзолистых и дерново-подзолистых почв; на пониженных частях рельефа отмечаются болотно-подзолистые и болотные почвы.

Т а б л и ц а 1

Характеристика объектов исследования

Research objects characteristics

Номер пробной площади	Лесничество	Участковое лесничество	Квартал	Выдел	Вид посадочного материала*	Возраст, лет	Год посадки	Площадь участка, га
1	Тотемское	Калининское	45	4, 5	ОКС	3	2021	23,5
2	Тотемское	Толшменское	3	11, 12, 14	«—»	4	2020	38,2
3	Тотемское	Толшменское	3	17, 22, 24	ЗКС	1	2022	17,5
4	Тотемское	Тотемское	121	18	ОКС	8	2016	3,7
5	Тарногское	Шебеньгское	142	17	«—»	1	2023	21,0
6	Тотемское	Толшменское	3	1, 7, 8, 12	«—»	2	2022	43,7
7	Тотемское	Толшменское	63	11	ЗКС	6	2018	4,6
8	Тотемское	Тотемское	70	3, 7	ОКС	5	2019	4,5
9	Тотемское	Тотемское	26	38, 45	«—»	7	2017	18,4

*ОКС — посадочный материал с открытой корневой системой; ЗКС — посадочный материал с закрытой корневой системой.

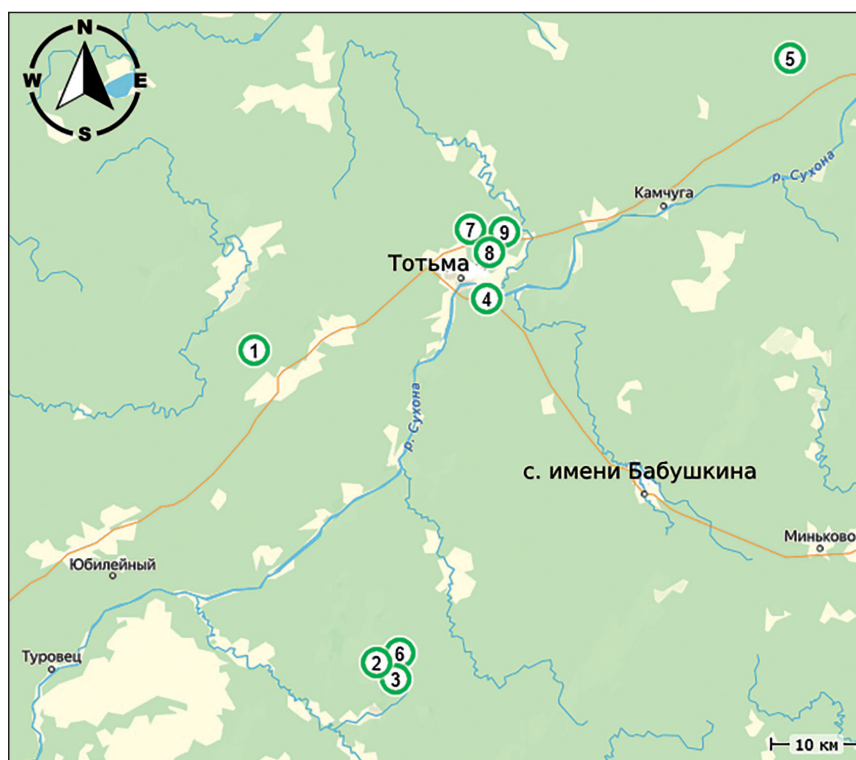


Рис. 1. Карта-схема расположения объектов исследования в Вологодской области (цифрами обозначены номера пробных площадей)

Fig. 1. Location map of the study objects in the Vologda region (the figures indicate the numbers of the test plots)

Сбор и обработка полевого материала осуществлялись в течение летнего периода 2023 г. Было заложено девять пробных площадей на лесокультурных участках. Использовался посадочный материал ели европейской с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневыми системами (табл. 1). По классификации В.Н. Сукачева [29], исследуемые

лесные культуры находятся в местообитаниях, соответствующих группе типов леса ельники зеленомошники. На всех объектах исследования шаг посадки варьирует от 0,5 до 0,9 м. Ширина междурядий составляет от 4 до 5 м. Лесные культуры ели созданы на нераскорчеванных вырубках механической подготовкой борозд (рис. 1).

Для однократных измерений таксационных параметров лесных культур пробные площади закладывали в однородной среде по условиям местопроизрастания, составу, возрасту и по количеству посадочных мест. Размеры пробной площади определяли количеством экземпляров ели (от 250 шт.). Количество исследуемых рядов на пробной площади варьировало от 2 до 4 [30, 31].

При сплошном перечете было учтено более 2300 саженцев, у которых измеряли диаметр ствола у шейки корня и на высоте основания последнего прироста, а также высоту культур и размер кроны. Приросты по высоте являются показателями состояния культур. Их измеряли по мутовкам для каждого вегетационного периода у более чем 700 саженцев. В целях уточнения первоначальной густоты культур на каждом участке замерялось расстояние между рядами и посадочными местами в ряду.

Возраст культур определялся во время подготовительных работ по имеющейся в лесничествах документации. Дополнительно проводился анализ видового состава древесно-кустарниковой растительности и составлялось описание видового состава живого напочвенного покрова на вырубках. Показатель точности проведенного опыта не превышал 5 %.

Депонирование углерода учитывается по фракциям накопления углерода в стволе, ветвях, корнях и хвое [32]. Для расчета запасов углерода фитомассы для рассматриваемых лесных участков использовали объемно-конверсионный метод [33, 34].

Определение объема ствола ели в лесных культурах проводилось упрощенным способом срединного сечения по формуле Губера

$$g = \frac{\pi D^2}{4} L,$$

где g — объем ствола, см³;

D — срединный диаметр ствола, см;

L — высота ствола дерева, см.

Запас древесины лесных культур определялся умножением объема среднего ствола на число деревьев, произрастающих на пробной площади, после чего с помощью переводных коэффициентов рассчитывался запас древесины на 1 га.

Для возрастов, меньших стартового возраста (20 лет) таблиц хода роста, была использована линейная экстраполяция от стартового значения до 0 для высоты дерева, диаметра ствола и густоты насаждения. Ввиду нелинейности динамики запасов насаждений, наиболее явно проявляющейся в младших возрастах, для экстраполяции динамики объемного запаса древесины использовали уравнение

$$M_i = \left(\frac{d_{i2}}{d_{s2}} \right) M_s,$$

где M_i — запас насаждения в возрасте i , см³/га;

d_i — средний диаметр насаждения в возрасте i , см;

M_s — запас насаждения в стартовом возрасте таблицы хода роста s ($s > i$), см³/га;

d_s — средний диаметр насаждения в стартовом возрасте таблицы хода роста s , см.

Алгоритм расчета поглощения углерода при создании лесных насаждений производился следующим образом.

Расчет запаса углерода в фитомассе породы k выполнялся по уравнению

$$CPh_k = 0,5M_k \cdot D_k \cdot BEF_k(1 + R_k),$$

где CPh_k — объем запаса углерода фитомассы древесной породы k , т/га;

M_k — запас древесной породы k , см³/га;

D_k — конверсионный коэффициент запаса древесины породы k в фитомассе ствола, кг/см³;

BEF_k — фактор расширения биомассы для породы k (безразмерен);

R_k — отношение подземной биомассы к надземной для породы k ;

0,5 — коэффициент пересчета биомассы из органического вещества в углерод.

Между таксационными запасами древостоев и фитомассой существует взаимосвязь. Фитомассу лесных культур определяли с помощью формулы

$$M = KV,$$

где M — фитомасса, кг;

K — конверсионный коэффициент;

V — объем стволовой древесины, см³.

Конверсионные коэффициенты отражают связь запаса стволовой древесины в коре с фитомассой древостоя. Для преобразования таксационных запасов древесных пород с учетом возрастной структуры в запасы фитомассы стволов, ветвей, корней и хвои конверсионные коэффициенты были рассчитаны по следующей формуле [34].

$$k = \frac{Ph}{M},$$

где k — конверсионный коэффициент, кг/см³;

Ph — фитомасса, кг/га;

M — запас лесных культур, см³/га.

Конверсионный коэффициент рассчитан для ели с учетом групп возраста. Общий конверсионный коэффициент для молодняков ели I класса возраста в европейской части России

Т а б л и ц а 2

Основные виды древесно-кустарниковой растительности на пробных площадях

The main tree and shrubery species in the trial plots

Номер пробной площади	Древесно-кустарниковая растительность
1	Осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)
2	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), можжевельник обыкновенный (<i>Juniperus communis</i> L.)
3	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)
4	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth.), ива козья (<i>Salix caprea</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), осина (<i>Populus tremula</i> L.), сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.)
5	Ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)
6	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)
7	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.), шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis</i> Lindl.)
8	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), ольха серая (<i>Alnus incana</i> (L.) Moench), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)
9	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth), осина (<i>Populus tremula</i> L.), сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.), рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.), виды рода ива (<i>Salix</i> sp.)

составляет 0,937. Содержание углерода принимается равным 0,5 абсолютно сухой фитомассы дерева. Определены общая фитомасса и запас депонированного углерода лесных культур ели в зависимости от их возраста. Статистическая обработка данных проведена в программе Microsoft Excel 2020, при уровне достоверности $p > 0,95$.

Результаты и обсуждение

Изученные в ходе исследования культуры ели европейской находятся в однотипных условиях местопроизрастания. При создании культур ели использовалась одна и та же технология подготовки почвы, поэтому культуры ели европейской, посаженные на двух участках, отличаются только видом посадочного материала.

В ходе работ установлены виды древесно-кустарниковой и травянистой растительности, преобладающие на пробных площадях (табл. 2, 3).

На объектах исследования помимо высаженных лесных культур ели встречаются деревья и кустарники естественного происхождения.

Состав древесно-кустарниковой растительности характерен для начальных этапов восстановления лесных сообществ зоны южной тайги европейской части Российской Федерации.

На пробных площадях 1–9 отмечены как типичные лесные виды живого напочвенного покрова, сохранившиеся в ходе рубки или восстанавливающиеся по мере формирования лесного сообщества (в частности, ягодные кустарнички (*Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium myrtillus* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), щитовник картузианский (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P.Fuchs), так и виды, характерные для открытых пространств (в первую очередь вейник наземный (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth), луговик дернистый (*Deschampsia cespitosa* (L.) P.Beauv.), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.). Микропонижения в пределах пробных площадей 1–9 заняты типичными для переувлажненных местообитаний видами, такими, как ситник развесистый (*Juncus effusus* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), погоз широко-

Т а б л и ц а 3

Преобладающие виды живого напочвенного покрова на пробных площадях

The predominant types of ground vegetation cover in the trial plots

Номер пробной площади	Преобладающие виды
1	Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), осока волосистая (<i>Carex pilosa</i> Scop.).
2	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.).
3	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.).
4	Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.).
5	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), кислица (<i>Oxalis acetosella</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), линнея северная (<i>Linnaea borealis</i> L.).
6	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.).
7	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), хвощ лесной (<i>Equisetum sylvaticum</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.), щитовник широкий (<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenkins et Jermy), ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), костяника (<i>Rubus saxatilis</i> L.), вороний глаз обыкновенный (<i>Paris quadrifolia</i> L.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.), щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs).
8	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i> L.), земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i> L.), таволга вязолистная (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), мать-и-мачеха (<i>Tussilago farfara</i> L.), клевер шуршащий (<i>Trifolium aureum</i> Pollich), голокучник обыкновенный (<i>Gymnocarpium dryopteris</i> (L.) Newman), бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.).
9	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth), иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.), щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.), малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.), кукушкин лен (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.), сфагнум (<i>Sphagnum</i> sp.).

листный (*Typha latifolia* L.), сфагновые и политриховые мхи (*Polytrichum* sp., *Sphagnum* sp.).

Информация о разнообразии растительности с указанием географических координат точек встречи конкретных видов загружена в базу данных проекта «Флора России» и регионального подпроекта «Флора Вологодской области» [35].

По результатам анализа видового состава живого напочвенного покрова определен тип вырубки для каждой пробной площади, в частности вейниково-разнотравный (ПП-1), вейниково-

ситниковый (ПП-2 и ПП-3), вейниковый (ПП-4), вейниково-кипрейный (ПП-6), кипрейно-щучковый (ПП-7, ПП-8 и ПП-9).

К возрасту 8 лет средняя высота лесных культур составила $166,23 \pm 4,91$ см, диаметр ствола у корневой шейки — $27,33 \pm 0,80$ мм. Сохранность лесных культур ели варьирует от 62,7 до 98,1 %. (табл. 4).

Для каждой пробной площади определена зависимость высоты дерева от диаметра его ствола (рис. 2).

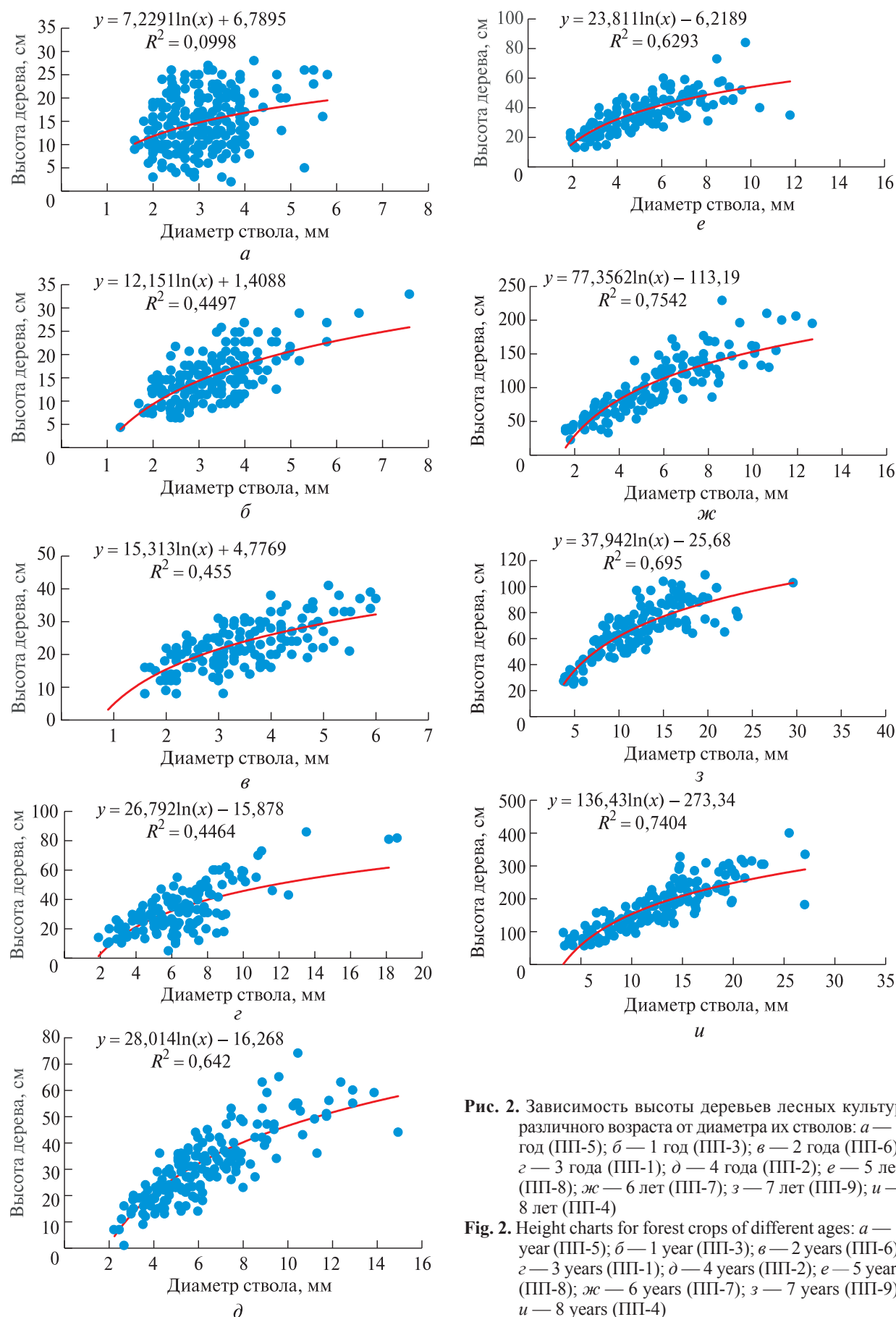


Рис. 2. Зависимость высоты деревьев лесных культур различного возраста от диаметра их стволов: а — 1 год (ПП-5); б — 1 год (ПП-3); в — 2 года (ПП-6); г — 3 года (ПП-1); д — 4 года (ПП-2); е — 5 лет (ПП-8); ж — 6 лет (ПП-7); з — 7 лет (ПП-9); и — 8 лет (ПП-4)

Fig. 2. Height charts for forest crops of different ages: а — 1 year (ПП-5); б — 1 year (ПП-3); в — 2 years (ПП-6); г — 3 years (ПП-1); д — 4 years (ПП-2); е — 5 years (ПП-8); ж — 6 years (ПП-7); з — 7 years (ПП-9); и — 8 years (ПП-4)

Т а б л и ц а 4

Биометрическая оценка лесных культур ели на пробных площадях
Biometric assessment of spruce forest crops in the trial plots

Номер пробной площади	Возраст, лет	Высота, см	Диаметр, мм	Количество, шт./ га
1	3	30,74 ± 0,79	6,02 ± 0,12	2336
2	4	31,28 ± 0,72	5,84 ± 0,13	2944
3	1	15,34 ± 0,34	3,26 ± 0,06	1259
4	8	166,23 ± 4,91	27,33 ± 0,80	1741
5	1	14,46 ± 0,31	2,98 ± 0,04	3325
6	2	22,77 ± 0,45	3,37 ± 0,06	2487
7	6	95,51 ± 3,02	16,41 ± 0,54	1589
8	5	35,47 ± 0,79	6,17 ± 0,16	2308
9	7	66,15 ± 1,23	12,01 ± 0,30	2296

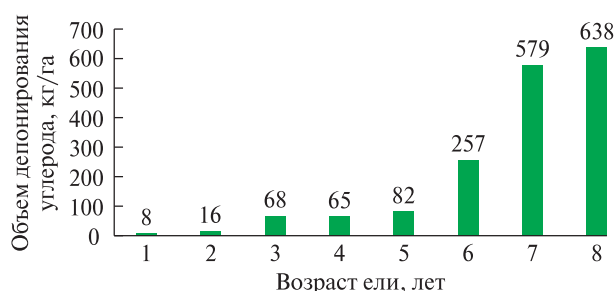


Рис. 3. Динамика депонирования углерода в лесных культурах ели на объектах исследования

Fig. 3. Dynamics of carbon sequestration in spruce forest culture in trial plots

В первые годы жизни лесных культур абсолютный запас стволовой древесины и фитомассы отличается невысокими значениями, однако отмечается их существенный годовой прирост. Заметное увеличение прироста по высоте по сравнению с предыдущими годами отмечается на 3-й (в 4,3 раза — с 13 845 до 59 634 см³/га фитомассы) и 6–7-й годы (в 2,15 и 2,2 раза — 510 492 см³/га фитомассы).

Проведен анализ динамики запаса стволовой древесины, общей фитомассы и депонирования углерода лесных культур ели на пробных площадях из расчета 3000 шт./га (рис. 3). Фактический объем углерода может варьировать в зависимости от сохранности лесных культур.

Значительное увеличение объема запасов углерода по сравнению с предыдущими годами отмечается на 3-й (в 4,3 раза) и 6–8-й годы (в 2,15; 2,2 и 1,1 раза соответственно). Депонирование углерода находится в прямой зависимости от накопления фитомассы и к 8 годам достигает 638 кг/га при количестве посадочного материала 3000 шт./га.

Создание лесных культур, в том числе выполняющих углерододепонирующую функцию, позволяет превратить вырубку в продуктивные насаждения. Депонирование углерода лесными культурами напрямую обусловлено соблюдением технологии лесовосстановления: качеством подготовительных работ, проведением посадки или посева культур, а также своевременным выполнением агротехнических, лесоводственных уходов и рубок ухода в молодняках.

Вместе с тем важно отметить, что помимо депонирования углерода лесными культурами ели, данный процесс также протекает в древесно-кустарниковой растительности естественного происхождения в междурядьях.

Количественную оценку объема запаса углерода лесными культурами можно использовать в качестве критерия и индикатора оценки эффективности воспроизводства лесов в рамках лесоклиматических проектов.

Результаты проведенного исследования можно использовать в дальнейшем при изучении накопления фитомассы и депонирования углерода в европейской части РФ.

Выводы

1. Показатели продуктивности культур ели европейской в основном зависят от морфометрических характеристик деревьев. К возрасту 8 лет средняя высота лесных культур составляет $166,23 \pm 4,91$ см, диаметр ствола у корневой шейки — $27,33 \pm 0,80$ мм.

2. Значительный объем фитомассы и накопленного углерода находится в надземной части лесных культур.

3. Существенное увеличение прироста по сравнению с предыдущими годами отмечается

на 3-й (в 4,3 раза) и 6–7-й годы (в 2,15 и 2,2 раза соответственно).

4. Ежегодные приросты увеличиваются после достижения деревьями возраста больше 5 лет, что обусловлено выходом лесных культур из-под влияния травянистых растений и улучшением светового режима.

5. В обследованных еловых культурах депонирование углерода к возрасту 8 лет составляет 0,64 т/га из расчета посадки 3000 шт./га.

Благодарности

Данное исследование проведено при финансовой поддержке компании ООО «Свеза» в рамках корпоративной грантовой программы.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ООО «Свеза-Лес» и ООО «Свеза-Ресурс»: Н.Ю. Цикиной, П.Н. Кузьминской, М.В. Одинцову и сотрудникам АНО «Зеленый свет», особенно технологу — М.Н. Шматкову за работу по обеспечению условий для проведения исследования.

Список литературы

- [1] О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов: Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июня 2017 г. № 20-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456077289> (дата обращения 11.03.2024).
- [2] Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Пряхников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовозобновления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики, 1995. 156 с.
- [3] Родин А.Р. Лесные культуры. М.: МГУЛ, 2009. 462 с.
- [4] Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научно-технические исследования, 2022. 124 с.
- [5] Allen M.R., Shine K.P., Fuglestedt J.S., Millar R.J., Cain M., Frame D. J. Macey A.H. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation // *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2018, t. 1, no. 1, p. 16.
- [6] Valentini R., Zanolodchikov D., Reyer C., Noce S., Santini M., Lindner M. Climate change in Russia – past, present and future // *Russian forests and climate change*. European Forest Institute Publ., 2020, pp. 45–52.
- [7] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // *J. of Forestry Research*, 2022, v. 34(4), pp. 1279–1287. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z
- [8] Larsén X.G., Imberger M., Hannesdóttir Á., Hahmann A.N. The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6 // *Frontiers in ecology research*, 2024, t. 12. DOI: 10.5194/wes-2022-102
- [9] Clayton S.D., Pihkala P., Wray B., Marks E. Psychological and emotional responses to climate change among young people worldwide: Differences associated with gender, age, and country // *Sustainability*, 2023, t. 15, no. 4, p. 3540.
- [10] Kurz W.A., Shaw C.H., Boisvenue C., Stinson G., Metsaranta J., Leckie D., Dyk A., Smyth C., Neilson E.T. Carbon in Canada's boreal forest – a synthesis // *Environ. Rev.*, 2013, no. 21, pp. 260–292.
- [11] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review // *J. Ecosyst. Echogr.*, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [12] Sitch S., Friedlingstein P., Gruber N., Jones S.D., Murray-Tortarolo G., Ahlström, A., Myneni R. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide // *Biogeosciences*, 2015, t. 12, no. 3, pp. 653–679.
- [13] Jandl R., Spathelf P., Bolteet A., Prescott C. Forest adaptation to climate change – is non-management an option? // *Annals of forest science*, 2019, v. 76, no. 2, pp. 1–13.
- [14] Bolte A., Hilbrig L., Kniesel B., Roloff A. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest – the Siggaboda case study // *Annals of forest science*, 2014, v. 71, no. 2, pp. 139–147.
- [15] Seidl R., Thom D., Kautz M., Martín-Benito D. Forest disturbances under climate change // *Nature climate change*, 2017, v. 7, no. 6, pp. 395–402.
- [16] O'Hara K.L. What is close-to-nature silviculture in a changing world? // *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2016, v. 89, no. 1, pp. 1–6.
- [17] Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species based dynamic vegetation model // *Global Ecology and Biogeography*, 2012, v. 21, no. 1, pp. 50–63.
- [18] Беляков Д.В. Лежнев Д.В. Оценка сохранения локальных объектов биологического разнообразия в Верховажском районе Вологодской области // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. науч. тр. по результатам работы IV междунар. молодежной науч.-практ. конф., Вологда — Молочное, 25 апреля 2019 года, т. 3. Вологда; Молочное: Изд-во Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина, 2019. С. 180–186.
- [19] Мочалов Б.А., Бобушкина С.В. Лесокультурное производство – основа непрерывности лесопользования // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2021. № 4(382). С. 80–96. DOI 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96
- [20] Lezhnev D.V. Assessment of forest cultures created by various plant material in the Vologda region // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: сб. науч. трудов по результатам работы IV междунар. молодежной науч.-практ. конф., Вологда — Молочное, 25 апреля 2019 года, т. 3. Вологда; Молочное: Изд-во Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина, 2019. С. 158–162.
- [21] Fradette O., Marty C., Tremblay P., Lord D., Boucher J.-F. Allometric Equations for Estimating Biomass and Carbon Stocks in Afforested Open Woodlands with Black Spruce and Jack Pine, in the Eastern Canadian Boreal Forest // *Forests*, 2021, v. 12, p. 59. <https://doi.org/10.3390/f12010059>
- [22] Филиппчук А.Н., Мальшева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата // *Лесохозяйственная информация*, 2020. № 1. С. 92–114. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10.

- [23] Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П. Исследование методов и разработка информационной системы определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде Natural. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2012. 192 с.
- [24] Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохозяйственная информация, 2016. № 3. С. 36–85.
- [25] Чураков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны // Ульяновский медико-биологический журнал, 2012. № 1. С. 125–129.
- [26] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review // J. Ecosyst. Echogr, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [27] Распоряжение губернатора Вологодской области от 30.11.2018 года № 4807-р «Об утверждении лесного плана Вологодской области». URL: <https://dlk.gov35.ru/dokumenty/lesnoy-plan-oblasti/> (дата обращения 01.07.2023).
- [28] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
- [29] Сукачев В.Н. Избранные труды. Т. 1. М., 1972. 418 с.
- [30] Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 29 декабря 2021 года № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления». URL: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (дата обращения 01.07.2023).
- [31] Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
- [32] Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Methodology Report / Eds. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, 649 p.
- [33] Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение, 1996. № 6. С. 36–46.
- [34] Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесобразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство, 2003. Вып. 1(32). С. 119–127.
- [35] Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. «Flora of Russia» on iNaturalist: A dataset // Biodiversity Data Journal, 2020, v. 8, p. 59249. DOI 10.3897/BDJ.8.e59249

Сведения об авторах

Коротков Сергей Александрович  — канд. биол. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения Российской академии наук, skorotkov-71@mail.ru

Захаров Владимир Петрович — заместитель начальника отдела экологического просвещения и медиакоммуникаций ГАУ МО «Мособллес», zakharov@forest.ru

Лежнев Даниил Викторович — младший научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, Институт лесоведения Российской академии наук, lezhnev.daniil@yandex.ru

Шматков Иван Николаевич — директор АНО «Зеленый свет», hello@thegreenforest.ru

Поступила в редакцию 13.05.2024.

Одобрено после рецензирования 26.02.2025.

Принята к публикации 25.03.2025.

CARBON SEQUESTRATION BY FOREST CROPS IN EASTERN PART OF VOLOGDA REGION

S.A. Korotkov^{1,2}, V.P. Zakharov³, D.V. Lezhnev², I.N. Shmatkov⁴

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., 143030, Uspenskoye village, Moscow reg., Russia

³Mosobles, 1 km, b. 1A, Rublevo-Uspenskoe av., 143082, Razdory village, Odintsovo distr., Moscow reg., Russia

⁴«Zeleny svet» ANO, 29, room 55, Chicherina st., 248010, Kaluga, Kaluga reg., Russia

skorotkov-71@mail.ru

The article presents the results of a comprehensive assessment of carbon sequestration by forest crops of Norway spruce (*Picea abies* (L.) H.Karst.) at an early age in the Vologda region. The objects of the study were nine trial areas in forest crops created by planting material with a bare root and root-balled tree systems. When counting seedlings, the diameter at the root collar was measured, as well as the height and size of the crown, the growth of the apical shoot for each year. The species composition of the woody and shrubby vegetation in the cuttings is analyzed. The description of the species composition of the ground vegetation at the studied objects was carried out. For a correct assessment of the carbon sequestration in the forest crops phytomass created as a result of reforestation or afforestation, it is necessary to conduct studies of the depositing capacity of artificial plantations of various ages. The largest amount of phytomass and carbon sequestration is concentrated in the aboveground parts of trees in forest crops. The total phytomass and the reserve of carbon sequestration in forest crops of spruce were determined depending on their age. An annual increase of apical shoot height after the age above 5 years has been established.

Keywords: carbon deposition, forest crops, spruce, *Picea abies* (L.) H.Karst., phytomass, climate change, conversion coefficient, Vologda region

Suggested citation: Korotkov S.A., Zakharov V.P., Lezhnev D.V., Shmatkov I.N. *Osobennosti deponirovaniya ugleroda lesnymi kul'turami na primere vostochnoy chasti Vologodskoy oblasti* [Carbon sequestration by forest crops in eastern part of Vologda region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 27–39. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-27-39

References

- [1] *O metodicheskikh ukazaniyakh po kolichestvennomu opredeleniyu ob'ema pogloshcheniya parnikovyykh gazov: Rasporyazhenie Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 30 iyunya 2017 g. № 20-r* [On methodological guidelines for quantifying the volume of greenhouse gas uptake: Order No. 20-r of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated June 30, 2017]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456077289> (accessed 11.03.2024).
- [2] Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovozobnovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* [Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki [Center of ecological policy], 1995, 156 p.
- [3] Rodin A.R. *Lesnye kul'tury* [Forest crops]. Moscow: MGUL, 2009, 462 p.
- [4] *Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezyume*. [Third Assessment Report on Climate Changes and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation]. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii [Science-Intensive Technologies], 2022, 124 p.
- [5] Allen M.R., Shine K.P., Fuglestvedt J.S., Millar R.J., Cain M., Frame D. J. Macey A.H. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2018, t. 1, no. 1, p. 16.
- [6] Valentini R., Zanolodchikov D., Reyer C., Noce S., Santini M., Lindner M. Climate change in Russia—past, present and future. Russian forests and climate change. *European Forest Institute Publ.*, 2020, pp. 45–52.
- [7] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862. *J. of Forestry Research*, 2022, v. 34(4), pp. 1279–1287. DOI: 10.1007/s11676-022-01569-z
- [8] Larsén X.G., Imberger M., Hannesdóttir A., Hahmann A.N. The Impact of Climate Change on Extreme Winds over Northern Europe According to CMIP6. *Frontiers in energy research*, 2024, t. 12. <https://doi.org/10.5194/wes-2022-102>
- [9] Clayton S.D., Pihkala P., Wray B., Marks E. Psychological and emotional responses to climate change among young people worldwide: Differences associated with gender, age, and country. *Sustainability*, 2023, t. 15, no. 4, p. 3540.
- [10] Kurz W.A., Shaw C.H., Boisvenue C., Stinson G., Metsaranta J., Leckie D., Dyk A., Smyth C., Neilson E.T. Carbon in Canada's boreal forest – a synthesis. *Environ. Rev.*, 2013, no. 21, pp. 260–292.
- [11] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review. *J. Ecosyst. Echogr.*, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [12] Sitch S., Friedlingstein P., Gruber N., Jones S.D., Murray-Tortarolo G., Ahlström, A., Myneni R. Recent trends and drivers of regional sources and sinks of carbon dioxide. *Biogeosciences*, 2015, t. 12, no. 3, pp. 653–679.

- [13] Jandl R., Spathelf P., Bolteet A., Prescott C. Forest adaptation to climate change – is non-management an option?. *Annals of forest science*, 2019, v. 76, no. 2, pp. 1–13.
- [14] Bolte A., Hilbrig L., Kniesel B., Roloff A. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest – the Siggaboda case study. *Annals of forest science*, 2014, v. 71, no. 2, pp. 139–147.
- [15] Seidl R., Thom D., Kautz M., Martín-Benito D. Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 2017, v. 7, no. 6, pp. 395–402.
- [16] O'Hara K.L. What is close-to-nature silviculture in a changing world? *Forestry: An International J. of Forest Research*, 2016, v. 89, no. 1, pp. 1–6.
- [17] Hickler T., Vohland K., Feehan J., Miller P.A. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 2012, v. 21, no. 1, pp. 50–63.
- [18] Belyakov D.V. Lezhnev D.V. *Otsenka sokhraneniya lokal'nykh ob'ektov biologicheskogo raznoobraziya v Verkhovazhskom rayone Vologodskoy oblasti* [Assessment of the conservation of local objects of biological diversity in the Verkhovazhsky district of the Vologda region]. *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam raboty IV mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Young researchers of agro-industrial and forestry complexes – to the regions: A collection of scientific papers based on the results of the IV International Youth scientific and practical conference], Vologda — Molochnoye, April 25, 2019. V. 3. Vologda; Molochnoe: Vologodskaya gosudarstvennaya molochnokhozyaystvennaya akademiya im. N.V. Vereshchagina, 2019, pp. 180–186.
- [19] Mochalov B.A. *Lesokul'turnoye proizvodstvo – osnova nepreryvnosti lesopol'zovaniya* [Silvicultural production is the basis for continuous forest management] *Russian Forestry Journal*, 2021, no. 4(382), pp. 80–96. DOI 10.37482/0536-1036-2021-4-80-96.
- [20] Lezhnev D.V. Assessment of forest cultures created by various plant material in the Vologda region. *Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam raboty IV mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Young researchers of agro-industrial and forestry complexes – to the regions: A collection of scientific papers based on the results of the IV International Youth scientific and practical conference], Vologda — Molochnoye, April 25, 2019. v. 1. Vologda; Molochnoe: Vologodskaya gosudarstvennaya molochnokhozyaystvennaya akademiya im. N.V. Vereshchagina, 2019, p. 158–162.
- [21] Fradette O., Marty C., Tremblay P., Lord D., Boucher J.-F. Allometric Equations for Estimating Biomass and Carbon Stocks in Afforested Open Woodlands with Black Spruce and Jack Pine, in the Eastern Canadian Boreal Forest. *Forests*, 2021, v. 12, p. 59. <https://doi.org/10.3390/f12010059>
- [22] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Yugov A.N. *Boreal'nyye lesa Rossii: vozmozhnosti dlya smyagcheniya izmeneniya klimata* [Boreal forests of Russia: opportunities for climate change mitigation]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2020, no. 1, pp. 92–114. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2020.1.10
- [23] Voronov M.P., Usol'tsev V.A., Chasovskikh V.P. *Issledovanie metodov i razrabotka informatsionnoy sistemy opredeleniya i kartirovaniya deponiruемого lesami ugleroda v srede Natural*. [Research of methods and development of an information system for determining and mapping carbon deposited by forests in the Natural environment]. Ekaterinburg: UGLTU [USLTU], 2012, 192 p.
- [24] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseev B.N., Strakhov V.V. *Analiticheskiy obzor metodik ucheta vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovyykh gazov iz atmosfery* [Analytical review of methods for accounting for emissions and uptake of greenhouse gases from the atmosphere by forests]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2016, no. 3, pp. 36–85.
- [25] Churakov B.P., Manyakina E.V. *Deponirovaniye ugleroda raznovozrastnymi kul'turami sosny* [Carbon deposition by pine crops of different ages]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medical and Biological Journal], 2012, no. 1, pp. 125–129.
- [26] Vashum K.T., Jayakumar S. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests – a review. *J. Ecosyst. Echogr*, 2012, no. 2, pp. 1–7.
- [27] *Rasporyazhenie gubernatora Vologodskoy oblasti ot 30.11.2018 goda № 4807-r Ob utverzhdenii lesnogo plana Vologodskoy oblasti* [Order of the Governor of the Vologda Region dated 11/30/2018 No. 4807-r «On approval of the Vologda Region Forest Plan»] Available at: <https://dlk.gov35.ru/dokumenty/lesnoy-plan-oblasti/> (accessed 01.07.2023).
- [28] Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noye rayonirovaniye SSSR*. [Forestry zoning of the USSR]. Moscow: Nauka, 1973, 203 p.
- [29] Sukachev V. N. *Izbrannyye trudy* [Selected works], v. 1, Moscow, 1972, 418 p.
- [30] *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov Rossiyskoy Federatsii ot 29 dekabrya 2021 goda № 1024 «Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, formy, sostava, poryadka soglasovaniya proekta lesovosstanovleniya, osnovaniy dlya otказа v ego soglasovanii, a takzhe trebovaniy k formatu v elektronnoy forme proekta lesovosstanovleniya»* [Order no. 1024 of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated December 29, 2021 «On approval of the Rules of Reforestation, form, composition, procedure for approving the reforestation project, grounds for refusal to approve it, as well as requirements for the format in electronic form of the reforestation project»] Available at: <https://docs.cntd.ru/document/728111110> (accessed 01.07.2023).
- [31] Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [The study of reforestation processes]. Moscow: Nauka, 1966, 64 p.
- [32] Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Methodology Report. Eds. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, F. Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, 649 p.
- [33] Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Gul'be T.A., Gul'be Ya.I. *Allometricheskie uravneniya dlya fitomassy po dannym derev'ev sosny, eli, berezy i osiny v evropeyskoy chasti Rossii* [Allometric equations for phytomass based on data from pine, spruce, birch and aspen trees in the European part of Russia]. *Lesovedenie*, 1996, no. 6, pp. 36–46.

- [34] Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. *Koeffitsienty konversii zapasov nasazhdeniy v fitomassu dlya osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Rossii* [Conversion coefficients of plantings stocks into phytomass for the main forest-forming species of Russia]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest taxation and forest management], 2003, v. 1(32), pp. 119–127.
- [35] Seregin A.P., Bochkov D.A., Shner J.V. «Flora of Russia» on iNaturalist: A dataset. *Biodiversity Data J.*, 2020, v. 8, p. 59249. DOI 10.3897/BDJ.8.e59249

Acknowledgments

This study was conducted with the financial support of the Sveza Company as part of a corporate grant program.

The authors also express their gratitude to the employees of Sveza-Les and Sveza Resource: Tsikina N.Yu., Kuzminskaya P.N., Odintsov M.V. and the staff of the Green Light ANO, especially the technologist Shmatkov M.N., for their work in supporting the research.

Authors' information

Korotkov Sergey Aleksandrovich ✉ — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, BMSTU (Mytishchi branch); Senior Researcher at the Laboratory of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry of the Russian Academy of Sciences, skorotkov-71@mail.ru

Zakharov Vladimir Petrovich — Deputy Head of the Department of Environmental Education and Media Communications of the State Institution of the Moscow region «Mosoblles», zakharov@forest.ru

Lezhnev Daniil Viktorovich — Junior Researcher at the Laboratory of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry Sciences of the Russian Academy of Sciences, lezhnev.daniil@yandex.ru

Shmatkov Ivan Nikolaevich — Director of ANO «Green Light», hello@thegreenforest.ru

Received 13.05.2024.

Approved after review 26.02.2025.

Accepted for publication 25.03.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest