

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА СТВОЛОВОЙ ФРАКЦИЕЙ В 100-ЛЕТНИХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ ХВОЙНЫХ ПОРОД

М.Д. Мерзленко¹, П.Г. Мельник^{1, 2✉}, Л.П. Мельник¹

¹ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), Россия, 140030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Мытищинский филиал, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

melnik_petr@bk.ru

Приведены результаты исследования особенностей депонирования атмосферного углерода главными лесообразующими хвойными породами — лиственницей европейской и сосной обыкновенной на двух участках лесоводственного мониторинга, представленных 100-летними лесными культурами, на территории Никольской лесной дачи (северо-восток Московской обл.) в типичных условиях коренных сосняков-черничников свежих (В₂). Установлено, что в общей фитомассе ствола доля фракции коры лиственницы составила 13,2 %, а в культурах сосны — 7,6 %. Определено явное преимущество в депонировании углерода лиственницы европейской перед такой коренной породой, как сосна обыкновенная, которое выражается фактически двукратным превышением по накопленному углероду, что свидетельствует о весьма желательном использовании лиственницы европейской в качестве ценного интродукта для создания лесных культур. Установлено, что климатипы рода *Larix*, в географических посадках представленные лиственницей европейской, польской и Сукачева, достигают максимального лесоводственного эффекта в зоне смешанных лесов. Сделан вывод о том, что депонированный углерод коррелирует с фитомассой древостоя, которая, в свою очередь, коррелирует с запасом стволовой древесины. Зная запас стволовой древесины, можно в определенной мере судить и о запасе депонированного углерода.

Ключевые слова: лиственница европейская, сосна обыкновенная, депонирование углерода, лесные культуры, Никольская лесная дача, Подмоскowie

Ссылка для цитирования: Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Мельник Л.П. Депонирование углерода стволовой фракцией в 100-летних лесных культурах хвойных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10

В бореальных лесах Северного полушария Земного шара хвойные породы составляют доминирующую часть лесного покрова, причем в некоторых районах Сибири доля лиственничных лесов может достигать 90 %. Именно хвойным породам принадлежит лидирующая роль в кислородопроизводительной способности [1], а возможность «связать» (депонировать) на длительное время углерод в древесной фитомассе существенно подняла экологическую значимость лесного покрова планеты [2–7].

Искусственное лесовосстановление должно стать одним из действенных приемов в депонировании атмосферного углерода [8], ибо создавая лесные культуры, лесоводы существенно повышают продуктивность лесов [9–19]. Так, в центре Русской равнины лесные культуры из лиственницы европейской, по сравнению со всеми другими аборигенными древесными породами, способны формировать древостои с запасами стволовой древесины в возрасте спелости до 1200...1400 м³/га [20, 21]. Поэтому настоящая работа — это только начало исследований по определению возможных объемов депонирования углерода лес-

ными культурами хвойных пород, в частности лесными культурами лиственницы.

Цель работы

Цель работы — изучение особенностей депонирования атмосферного углерода лесообразующими породами лиственницей европейской и сосной обыкновенной на примере объектов лесоводственного мониторинга в условиях Никольской лесной дачи (северо-восток Московской обл.).

Объекты и методы исследований

Объектами исследований послужили два участка 100-летних лесных культур — лиственницы европейской и сосны обыкновенной, произрастающих на дерново-сильнопodzolistой легкосуглинистой почве подстилаемой флювиогляциальным песком.

Для определения фитомассы стволовой древесины лесных культур использовали средние модельные деревья. Безусловно, метод среднего модельного дерева при учете фитомассы насаждения наименее репрезентативен и дает низкую точность [22–24]. Тем не менее его использование связано с тем, что искусственные древостои

находятся на территории учебно-опытных объектов и взятие модельных деревьев по пропорционально-ступенчатому представительству включалось.

Средние модельные деревья раскряжевывались на двухметровые секции и подвергались полному анализу древесного ствола на ход роста. Из середины каждой секции выпиливались образцы, которые помещались в сушильный шкаф и выдерживались там до абсолютно сухого состояния. Конверсионные коэффициенты для перевода единицы абсолютно сухой фитомассы фракций ствола в единицу массы углерода составили для стволовой древесины лиственницы европейской 0,58, а сосны обыкновенной — 0,46; для коры соответственно 0,42 и 0,40. Конверсионный коэффициент для древесины ствола у лиственницы очень высок [25]. Большее значение этого показателя может быть только у дуба [26]. Однако дуб черешчатый в зоне смешанных лесов [27] не является существенным лесообразователем и не доминирует в составе высокоствольных древостоев.

Результаты и обсуждение

Сопоставляемые 100-летние лесные культуры представлены чистыми по составу высокобонитетными и высокополнотными искусственными древостоями (таблица). Лесные культуры лиственницы европейской по общей фитомассе ствола существенно превышают таковую лесных культур сосны обыкновенной (рис. 1). В общей фитомассе ствола доля фракции коры в культурах лиственницы составила 13,2 %, а в культурах сосны — 7,6 %.

Большая доля фитомассы коры в лиственничном насаждении обусловлена значительной толщиной коры у лиственницы особенно в комлевой части, где она превышает 10 см. Лиственница европейская по стволовой фитомассе древесины в лесных культурах значительно превышает таковую по сравнению с культурами сосны, у которой она на 34 % меньше, нежели в искусственном древостое лиственницы европейской.

Лесные культуры лиственницы европейской продуктивнее лесных культур сосны обыкновенной. Так, фитомасса стволов составила у насаждения лиственницы 402 т абсолютно сухого вещества на 1 га, тогда как в насаждении сосны — 249 т на 1 га. Однако и в том, и в другом насаждении эти данные мы считаем заниженными, ибо, по данным М.Д. Мерзленко и А.И. Гурцева [28], среднее дерево по диаметру ствола не совпадает со средним деревом по фитомассе ствола: ряд распределения разбивается по ступеням толщины на две неравные части — слева, т. е. в низких ступенях толщины, находится 20 % всей стволовой фитомассы, а справа, соот-

Депонирование углерода стволами в 100-летних лесных культурах лиственницы европейской и сосны обыкновенной

Carbon deposit by trunks in 100-year-old European larch and Scots pine

Параметр	Лесные культуры	
	Лиственница европейская (<i>Larix decidua</i> subsp. <i>sudetica</i> (Domin) Domin)	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
Высота, м	31,8	29,1
Диаметр ствола, см	40,6	32,0
Класс бонитета	Ia	I
Количество деревьев, шт./га	432	472
Фитомасса (абсолютно сухое вещество), т/га		
	древесина	349
кора	53	19
Накопленный углерод, т/га		
	древесина	202
кора	22	8

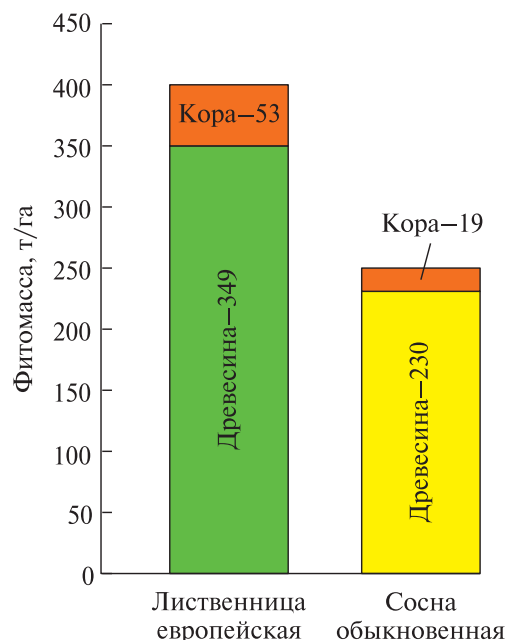


Рис. 1. Фитомасса (т/га) древесины и коры в 100-летних культурах лиственницы европейской и сосны обыкновенной

Fig. 1. Phytomass (t/ha) of wood and bark in 100-year-old European larch and Scots pine crops

ветственно, около 80 %. Поэтому для большей точности учета фитомассы модельные деревья надо брать по пропорционально-ступенчатому представительству, но со смещением числа моделей вправо относительно среднего по диаметру ствола дерева.

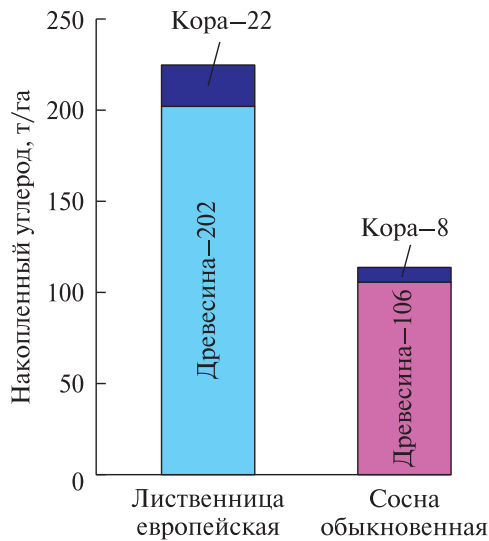


Рис. 2. Накопленный углерод (т/га) в древесине и коре 100-летних культур лиственницы европейской и сосны обыкновенной

Fig. 2. Accumulated carbon (t/ha) in wood and bark of 100-year-old European larch and Scots pine

Из таблицы видно явное преимущество в депонировании углерода лиственницы европейской перед такой коренной породой, которой является сосна обыкновенная. Это преимущество выражается фактически двукратным превышением по накопленному углероду, что свидетельствует о весьма желательном использовании лиственницы европейской как ценного интродуцента для создания лесных культур (рис. 2). Причем из всех испытанных на предмет лесоводственного эффекта (высокие показатели средней высоты, среднего диаметра ствола и запаса древесины) климатипов рода *Larix* в географических посадках зоны смешанных лесов являются климатипы лиственницы европейской, польской, а также лиственницы Сукачева из Волжского спецлесхоза [29–32].

Выводы

Изучение депонирования углерода в насаждениях — процесс трудоемкий. Занимаясь изучением производительности древостоев, мы пришли к выводу о том, что депонированный углерод коррелирует с фитомассой древостоя, а фитомасса — с запасом стволовой древесины. Поэтому, зная это, по запасу стволовой древесины можно, в определенной мере, судить и о запасе депонированного углерода. Древостой резко замедляет депонирование углерода, когда его текущий среднепериодический прирост по запасу древесины становится отрицательным [33].

Список литературы

[1] Лосицкий К.Б., Чуенков В.С. Эталонные леса. М.: Лесная пром-сть, 1980. 192 с.
 [2] Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство // Лесоведение, 1995. № 5. С. 3–20.

[3] 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.: Изд-во Центра экологической политики России, 1995. 156 с.
 [4] Усольцев В.А. Депонирование углерода лесами Уральского региона России (по состоянию Государственного учета лесного фонда на 2007 год). Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2018. 265 с.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
 [5] Schepaschenko D., Karminov V., Moltchanova E., Fedorov S. Russian forest sequestrers substantially more carbon than previously reported. Scientific Reports. 2021, Vol. 11. No 1. P. 12825.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
 [6] Савиных Н.П., Тетерин А.А. Об использовании лиственницы сибирской для повышения депонирования углерода лесами // Вестник Тверского государственного университета. Сер. биол. и экол., 2022. № 3(67). С. 83–94.
 [7] Потапенко А.М. Оценка потенциала депонирования углерода фитомассой малоценных лесных насаждений в Белорусском Полесье // Молодежь в науке — 2020: Тез. докл. XVII Междунар. науч. конф. Минск: Издательский дом «Белорусская наука», 2020. С. 149–151.
 [8] Орнатский А.Н., Лабутин А.Н. Сравнительная оценка углерододепонирующих насаждений и лесных культур общего назначения в Нижегородской области // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 4(28). С. 28–37.
 [9] Thürmer K. Bewirtschaftung der Privatwaldungen. Allgemeine Forst und Jagd Zeitung // German J. of Forest Research, 1877, v. XI, pp. 385–391.
 [10] Тюрмер К.Ф. Важность искусственного лесовозрастания // Лесной журнал, 1883. Вып. 1. С. 34–39.
 [11] Тольский А.П. Значение и необходимость искусственного лесовозобновления. М.: Госиздат, 1921. 39 с.
 [12] Тимофеев В.П. Роль лиственницы в поднятии продуктивности лесов. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 160 с.
 [13] Рубцов М.В., Мерзленко М.Д. Лесные культуры К.Ф. Тюрмера. М.: Изд-во ЦБНТИлесхоза, 1975. 42 с.
 [14] Писаренко А.И., Редько Г.И., Мерзленко М.Д. Искусственные леса. М.: Изд-во ВНИИЦлесресурс, 1992. Т. 1. 302 с; Т. 2. 239 с.
 [15] Поляков А.Н. Лесные культуры К.Ф. Тюрмера в Московской и Владимирской областях // Лесохозяйственная информация, 1995. Вып. 4. С. 15–29.
 [16] Matras J. Badania proweniencyjne modrzewia prowadzone przez Instytut Badawczy Leśnictwa w latach 1948–2000 // Pr. Inst. bad. leś. A., 2001, no. 908–912, pp. 41–63.
 [17] Рубцов М.В., Глазунов Ю.Б., Николаев Д.К. Лиственница европейская в центре Русской равнины // Лесное хозяйство, 2011. № 5. С. 26–29.
 [18] Штукин С.С., Волович П.И., Клыш А.С. Сохранность и продуктивность лесных культур лиственницы польской, созданных на раскорчеванной вырубке // Тр. БГТУ Лесное хозяйство, 2015. № 1. С. 107–110.
 [19] Дебринюк Ю.М., Белеля С.О. Формова різноманітність і життєвий стан модрина у насадженнях Західного Полісся // Наукові праці Лісівничої академії наук України, 2016. Вип. 14. С. 117–125.
 [20] Мерзленко М.Д., Коженкова А.А. Интродукция лиственницы европейской в Поречье // Науч. тр. МГУЛ. Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов. Вып. 275. М.: МГУЛ, 1994. С. 86–95.

- [21] Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. М.: МГУЛ, 2015. 112 с.
- [22] Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы и результаты) // Лесоведение и лесоводство. М.: ВИНТИ, 1975. Т. 1. С. 9–189 с.
- [23] Уткин А.И., Каплина Н.Ф., Ильина Н.А. Уточнение техники применения регрессионного метода в изучении биологической продуктивности древостоев // Лесоведение, 1987. № 1. С. 40–53.
- [24] Мамонов Д.Н., Морковина С.С., Матвеев С.М., Шешнищан С.С., Иветич В. Сравнительная оценка методов учета депонирования углерода сосново-березовыми лесными насаждениями Воронежской области // Лесотехнический журнал, 2022. Т. 12. № 3(47). С. 4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>
- [25] Шевелев С.Л., Кулакова Н.Н. Особенности депонирования углерода в древостоях лиственницы Нижнего Приангарья // Хвойные boreальной зоны, 2022. Т. XL, № 4. С. 312–317.
- [26] 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.
- [27] Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1974. 203 с.
- [28] Мерзленко М.Д., Гурцев А.И. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной в зависимости от густоты посадки // Лесоведение, 1982. № 2. С. 85–88.
- [29] Тимофеев В.П. Лесные культуры лиственницы. М.: Лесная пром-сть, 1977. 216 с.
- [30] Melnik P.G., Karasyov N.N. Productivity of different larch types in Moscow region // Eurasian Forests — Hungarian Forests: Materials of the VI Int. Conf. of Young Scientists. Moscow: MSFU, 2006, pp. 83–85.
- [31] Мельник П.Г., Мерзленко М.Д., Лобова С.Л. Результат выращивания климатипов лиственницы в географических культурах северо-восточного Подмосковья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2016. № 2 (136). С. 62–67.
- [32] Галдина Т.Е. Особенности произрастания лиственницы в географических культурах центральной лесостепи // Успехи современного естествознания, 2018. № 11–2. С. 235–240.
- [33] Рожков Л.Н. Годичная абсорбция углекислого газа основных древостоев в связи с возрастом // Тр. БГТУ, 2020. Сер. 1. № 2. С. 64–68.

Сведения об авторах

Мерзленко Михаил Дмитриевич — д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), md.merzlenko@mail.ru

Мельник Петр Григорьевич [✉] — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал); ст. науч. сотр. ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), melnik_petr@bk.ru

Мельник Любовь Петровна — канд. с.-х. наук, мл. науч. сотр., ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), lyubov.melnik.93@mail.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 10.01.2023.

Принята к публикации 27.01.2023.

CARBON DEPOSIT BY STEM FRACTION IN 100-YEAR-OLD CONIFEROUS SPECIES

M.D. Merzlenko¹, P.G. Melnik^{1, 2✉}, L.P. Melnik¹

¹Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, 21, Sovetskaya st., 140030, Uspenskoe, Moscow Region, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

melnik_petr@bk.ru

The paper presents the study results of the atmospheric carbon deposition by the main forest-forming coniferous species, namely European larch and Scots pine, in two forest monitoring sites represented by 100-year-old forest plantations on the territory of the Nikolskaya forest dacha (north-east of the Moscow region) under typical conditions of native fresh blueberry pine forests (B₂). It was analyzed that the forest plantations of European larch in terms of the total phytomass of the trunk significantly exceed that of forest plantations of Scots pine, where it turned out to be 34 % less in the latter than in the artificial larch stand; in the total phytomass of the trunk, the proportion of the larch bark fraction was 13,2 %, and in pine cultures — 7,6 %. A clear advantage in carbon deposition of European larch over such a native species as Scots pine was determined, which is actually expressed by a twofold excess in accumulated carbon, which indicates a highly desirable use of European larch as a valuable introduced species for the creation of forest plantations. It has been established that the climatotypes of the genus *Larix* in the geographical plantings of the mixed forest zone, represented by European, Polish and Sukachev's larch, achieve the maximum silvicultural effect. It is concluded that the deposited carbon correlates with the phytomass of the forest stand, which, in turn, correlates with the stock of stem wood. Knowing the stock of stem wood, to a certain extent one can consider the stock of deposited carbon.

Keywords: *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, carbon sequestration, forest plantations, Nikolsky forest dacha, Moscow region

Suggested citation: Merzlenko M.D., Melnik P.G., Melnik L.P. *Deponirovanie ugleroda stvolovoy fraktsiy v 100-letnikh lesnykh kul'turakh khvoynykh porod* [Carbon deposit by stem fraction in 100-year-old coniferous species]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 5–10. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-5-10

References

- [1] Lositskiy K.B., Chuenkov V.S. *Etalonnye lesa* [Reference scaffolding]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1980, 192 p.
- [2] Utkin A.I. *Uglerodnyy tsikl i lesovodstvo* [Carbon cycle and forestry]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1995, no. 5, pp. 3–16.
- [3] Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii* [Environmental problems of carbon dioxide absorption through reforestation and afforestation in Russia]. Moscow: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii [Center for Environmental Policy of Russia], 1995, 156 p.
- [4] Usoltsev V.A. *Deponirovanie ugleroda lesami Ural'skogo regiona Rossii (po sostojaniyu Gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda na 2007 god)* [Carbon sequestration by forests of the Ural region of Russia (on the base of Forest State Inventory data 2007)]. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2018. 265p. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
- [5] Schepaschenko D., Karminov V., Moltchanova E., Fedorov S. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*. 2021, vol. 11, no. 1, p. 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- [6] Savinykh N.P., Teterin A.A. *Ob ispol'zovanii listvennitsy sibirskoy dlya povysheniya deponirovaniya ugleroda lesami* [On the use of Siberian larch to increase forest carbon storage]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology], 2022, no. 3(67), pp. 83–94.
- [7] Potapenko A.M. *Ocenka potenciala deponirovaniya ugleroda fitomassoy malocennykh lesnykh nasazhdeniy v Belorusskom Poles'e* [Assessment of the potential of carbon deposition by phytomass of low-value forest plantations in the Belarusian Polesie] // *Youth in science – 2020: Abstracts of the XVII International Scientific Conference*. Minsk: Publishing House Belarusian Science, 2020. pp. 149–151.
- [8] Ornatkiy A.N., Labutin A.N. *Sravnitel'naya otsenka uglerododeponiruyushchikh nasazhdeniy i lesnykh kul'tur obshchego naznacheniya v Nizhegorodskoy oblasti* [Comparative assessment of carbon-containing plantings and general-purpose forest crops in the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, t. 4(28), pp. 28–37.
- [9] Thürmer K. Bewirtschaftung der Privatwaldungen. *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung* // *German J. of Forest Research*, 1877, v. XI, pp. 385–391.
- [10] Tyurmer K.F. *Vazhnost' iskusstvennogo lesovozrashcheniya* [The Importance of Artificial Harvesting]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1883, no. 1, pp. 34–39.
- [11] Tol'skiy A.P. *Znachenie i neobkhodimost' iskusstvennogo lesovozobnovleniya* [The importance and necessity of artificial reforestation]. Moscow: Gosizdat, 1921, 39 p.
- [12] Timofeev V.P. *Rol' listvennitsy v podnyatii produktivnosti lesov* [The role of larch in raising forest productivity]. Moscow: AN SSSR, 1961, 160 p.
- [13] Rubtsov M.V., Merzlenko M.D. *Lesnye kul'tury K.F. Tyurmera* [Forest Crops of K.F. Turnmer]. Moscow: TsBNTIleskhoz, 1975, 42 p.
- [14] Pisarenko A.I., Redko G.I., Merzlenko M.D. *Iskusstvennye lesa* [Artificial Forests]. Moscow: VNIITslesresurs, 1992, t. 1, 308 p., t. 2, 239 p.

- [15] Polyakov A.N. *Lesnye kul'tury K.F. Tyurmera v Moskovskoy i Vladimirskoy oblastiakh* [Forest Crops of K.F. Turner in the Moscow and Vladimir Regions]. Forestry information, 1995, no. 4, pp. 15–29.
- [16] Matras J. Badania proweniencyjne modrzewia prowadzone przez Instytut Badawczy Leśnictwa w latach 1948–2000 // Pr. Inst. bad. leś. A., 2001, no. 908–912, pp. 41–63.
- [17] Rubtsov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K. *Listvennitsa evropeyskaya v tsentre Russkoy ravniny* [European Larch in the Center of the Russian Plain]. Lesnoye khozyaystvo, 2011, no. 5, pp. 26–29.
- [18] Shtukin S.S., Volovich P.I., Klysh A.S. *Sokhrannost' i produktivnost' lesnykh kul'tur listvennitsy pol'skoy, sozdannykh na raskorchevannoy vyrubke* [Safety and Efficiency of Polish Larch Forest Cultures Created on the Uprooted Glade]. Proceedings of BSTU, 2015, no. 1(174), pp. 107–110.
- [19] Debrinyuk Yu.M., Beleya S.O. *Formova riznomanitnist' i zhitteviy stan modrini u nasadzennykh Zakhidnoho Polissya* [Variety of Forms and Vitality of the Larch in the Stands of Western Polissia]. Naukovi pratsi Lisivnichoi akademii nauk Ukraini [Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine], 2016, iss. 14, pp. 117–125.
- [20] Merzlenko M.D., Kozhenkova A.A. *Introduktsiya listvennitsy evropeyskoy v Porech'e* [Introduction of European larch in Porechye]. Nauchnye trudy MSFU [Scientific works of Moscow State Forest University], 1994, v. 275, pp. 86–95.
- [21] Merzlenko M.D., Mel'nik P.G. *Opyt lesovodstvennogo monitoringa v Nikol'skoy lesnoy dache* [Experience of silvicultural monitoring in Nikolskaya forest estate]. Moscow: MSFU, 2015, 112 p.
- [22] Utkin A.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesov* [Biological productivity of forests] Lesovedenie i lesovodstvo [Forest Studies and forestry]. Moscow: VINITI, 1975, t. 1, pp. 9–189.
- [23] Utkin A.I., Kaplina N.F., Il'ina N.A. *Utochnenie tekhniki primeneniya regressiionnogo metoda v izuchenii biologicheskoy produktivnosti drevostoev* [Clarification of the technique of using the regression method in the study of biological productivity of stands]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 1987, no. 1, pp. 40–53.
- [24] Mamonov D.N., Morkovina S.S., Matveev S.M., Sheshniitsan S.S., Ivetic V. *Sravnitel'naya otsenka metodov ucheta deponirovaniya ugleroda sosnovo-berezovymi lesnymi nasazhdeniyami Voronezhskoy oblasti* [Comparative evaluation of carbon sequestration accounting methods by pine-birch forest plantations in Voronezh region]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forest Engineering journal], 2022, Vol. 12, No. 3 (47), pp. 4–15. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1>
- [25] Shevelev S.L., Kulakova N.N. *Osobennosti deponirovaniya ugleroda v drevostoyakh listvennitsy Nizhnego Priangar'ya* [Features of carbon storage in larch stands in the Lower Angara region]. Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal area], 2022, Vol. XL, No. 4, pp. 312–317.
- [26] Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. *Opreделение zapasov ugleroda po zavisimym ot vozrasta nasazhdeniy konversionno-ob'emnym koeffitsientam* [Determination of Carbon Reserves by Conversion-Volume Factors Related to the Age of Stands]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 1998, no. 3, pp. 84–93.
- [27] Kurmaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovanie SSSR* [Forest Vegetation Regionalization of USSR]. Moscow: Nauka, 1974, 203 p.
- [28] Merzlenko M.D., Gurtsev A.I. *Biologicheskaya produktivnost' kul'tur sosny obyknovnoy v zavisimosti ot gustoty posadki* [Biological productivity of scots pine crops depending on the planting density]. Lesovedenie [Russian Journal of Forest Science], 1982, no. 2, pp. 85–88.
- [29] Timofeev V.P. *Lesnye kul'tury listvennitsy* [Larch forest plantation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1977, 216 p.
- [30] Melnik P.G., Karasyov N.N. *Productivity of different larch types in Moscow region. Eurasian Forests — Hungarian Forests: Materials of the VI International Conference of Young Scientists. Moscow: MSFU, 2006, pp. 83–85.*
- [31] Mel'nik P.G., Merzlenko M.D., Lobova S.L. *Rezultat vyrashchivaniya klimatipov listvennitsy v geograficheskikh kul'turakh severo-vostochnogo Podmoskov'ya* [The results of raising of the climatic types of larch among the provenance trial in the north-east of Moscow region]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016, no. 2 (136), pp. 62–67.
- [32] Galdina T.E. *Osobennosti proizrastaniya listvennitsy v geograficheskikh kul'turakh tsentral'noy lesostepi* [Features of the growth of larch in the geographical cultures of the central forest-steppe]. Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya [Successes of modern natural sciences], 2018, no. 11–2, pp. 235–240.
- [33] Rozhkov L.N. *Godichnaya absorptsiya uglekislogo gaza sosnovykh drevostoev v svyazi s vozrastom* [Annual age-related absorption of carbon dioxide by Pine stands]. Proceedings of BSTU, 2020, no. 1, pp. 64–68.

Authors' information

Merzlenko Mikhail Dmitrievich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Chief Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, md.merzlenko@mail.ru

Mel'nik Petr Grigor'evich [✉] — Cand. Sci. (Agricultural), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch); Senior Staff Scientist, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, melnik_petr@bk.ru

Mel'nik Lyubov' Petrovna — Cand. Sci. (Agricultural), Junior research assistant, Institute of Forest Science Russian Academy of Sciences, lesshii@bk.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 10.01.2023.

Accepted for publication 27.01.2023.

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