

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 52–59.

Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 52–59.

Научная статья

УДК 630*182.2:581.5(470.41-25)

DOI: 10.51318/FRET.2025.95.4.005

УГЛЕРОДДЕПОНИРУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Нурсиль Фоатович Гибадуллин¹, Иван Викторович Бачериков²,
Сергей Вениаминович Залесов³

¹ Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

² ООО «Умные цифровые решения», Москва, Россия

³ Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ Nursil.Gibadullin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7234-920X>

² ivashka512@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0531-1604>

³ zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Аннотация. Проведено исследование углероддепонирующей функции сосновых молодняков искусственного и естественного происхождения, сформировавшихся на постагрогенных землях в четырех административных районах Республики Татарстан. С использованием широко известных апробированных методик установлены достоверные различия в накоплении углерода деревьями различных категорий крупности как в одном древостое, так и в древостоях, произрастающих в разных административных районах Республики Татарстан. Установлено, что наиболее крупные деревья депонируют углерода значительно больше, чем деревья тонких ступеней толщины, несмотря на большую представленность последних в общей густоте. Сосновые молодняки, формирующиеся на постагрогенных землях, существенно отличаются объемом депонируемого углерода по административным районам Республики Татарстан. При этом с продвижением от лесостепи к зоне хвойно-широколиственных лесов наблюдается статистически достоверное увеличение углероддепонирующих функций в изучаемых сосновых молодняках на постагрогенных землях. Значительные запасы древесины и массы задепонированного в ней углерода в молодняках сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), формирующихся на постагрогенных землях, позволяют считать, что зарастание исключенных из оборота бывших сельскохозяйственных угодий древесной растительностью оказывает существенное влияние на содержание парниковых газов в атмосферном воздухе, а следовательно, и на глобальные процессы изменения климата на нашей планете.

Ключевые слова: депонирование углерода, сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., Республика Татарстан, постагрогенные земли

Для цитирования: Гибадуллин Н. Ф., Бачериков И. В., Залесов С. В. Углероддепонирующая функция сосновых молодняков на постагрогенных землях Республики Татарстан // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 4 (95). С. 52–59.

Original article

CARBON-DEPOSITING FUNCTION OF PINE YOUNG FORESTS ON POSTAGROGENIC LANDS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Nursil F. Gibadullin¹, Ivan V. Bacherikov², Sergey V. Zalesov³

¹ Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

² Smart Digital Solutions LLC, Moscow, Russia

³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ Nursil.Gibadullin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7234-920X>

² ivashka512@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0531-1604>

³ zalesovsv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3779-410x>

Abstract. The carbon-depositing function of pine young forests of artificial and natural origin formed on postagrogenic lands in four administrative districts of the Republic of Tatarstan has been researched. Using well-known and tested methods, reliable differences in carbon accumulation by trees of different size categories were established both in one forest stand and in forest stands growing in different administrative districts of the Republic of Tatarstan. It was found that the largest trees deposit significantly more carbon than trees of thin thickness grades, despite the greater representation of the latter in the overall density. Pine young stands formed on postagrogenic lands differ significantly in the volume of deposited carbon by administrative districts of the Republic of Tatarstan. At the same time, with the advancement from the forest-steppe to the zone of coniferous-broad-leaved forests, a statistically significant increase in carbon-depositing functions is observed in the researched pine young forest stands on postagrogenic lands. Significant reserves of wood and the mass of carbon deposited in it in young forest stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), formed on postagrogenic lands, allow us to assume that the overgrowing of former agricultural lands excluded from circulation with woody vegetation has a significant impact on the content of greenhouse gases in the atmospheric air, and, consequently, on the global processes of climate change on our planet.

Keywords: carbon deposition, Scots pine, *Pinus sylvestris* L., Republic of Tatarstan, postagrogenic lands

For citation: Gibadullin N. F., Bacherikov I. V., Zalesov S. V. Carbon-depositing function of pine young forests on postagrogenic lands of the Republic of Tatarstan // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 4 (95). P. 52–59.

Введение

Древостой на постагрогенных землях (залежах) выполняет углероддепонирующую функцию – накапливает углерод в фитомассе многолетней древесной растительности. Перераспределение углерода в экосистеме: по мере развития фитоценоза запас углерода в пахотном горизонте почв уменьшается, а углерод депонируется в древостое (Наквасина, Шумилова, 2021; Особенности..., 2019; Оценка..., 2018; Чернова и др., 2017).

На углероддепонирующую функцию древостоев на постагрогенных землях влияет тип сельско-

хозяйственного использования – пашня, сенокос, выпас и т. д. (Новоселова и др., 2016). Также многое зависит от свойств почвы. В легких почвах постагрогенная динамика запасов углерода выражена более отчетливо, чем в тяжелых, поскольку по мере лесовосстановления происходит перераспределение запасов органического вещества между подстилкой и минеральной частью профиля. Информация об углероддепонирующей функции древостоев на постагрогенных землях представляет интерес для прогнозов баланса углерода в постагрогенных экосистемах в результате

лесовосстановительной сукцессии. Исследования динамики запасов углерода в почвах и растительности на различных стадиях постагротенной сукцессии могут быть полезны для рационального подхода к использованию залежных земель (Дмитриев, Леднев, 2023; Технологическая реализация..., 2023; Королева, Шунькина, 2014).

Восстановление лесов на постагротенных землях является эффективным способом борьбы с изменением климата, поскольку позволяет увеличить поглощение углекислого газа из атмосферы и накопить его в виде биомассы и почвенно-го органического вещества. В целом древостои на постагротенных землях играют важную роль в глобальном цикле углерода, способствуя его депонированию и смягчению последствий изменения климата (Формирование..., 2023; Динамика..., 2017; Запасы углерода..., 2024).

Повышение лесистости региона и пуша углерода в лесных биогеоценозах перспективно путем увеличения площади водоохраных лесных насаждений по берегам рек, водорегулирующих фитоценозов на склоновых землях (Рекомендации..., 2009; Сабиров и др., 2023).

В связи с вышеизложенным проблематика оценки депонирования углерода древесными насаждениями на постагротенных землях региона исследования представляет несомненный интерес.

Цель, методика и объекты исследования

Целью проведенного исследования была оценка депонирования углерода сосновыми молодняками на постагротенных землях Республики Татарстан (РТ) с учетом различных почвенных факторов в районах исследования.

Объектами исследования были естественные сосновые молодняки и склоновые культуры. В физико-географическом отношении Татарстан расположен в лесной и лесостепной зонах, что и определяет выбор районов исследования. Расположение опытных объектов охватывает несколько районов Татарстана: Бугульминский, Высокогорский, Лаишевский и Пестриченский. Почвы постагротенные в зональном ряду располагаются от деградированных черноземов до серых песчаных лесных и суглинистых.

В каждом районе исследования закладывались две пробные площади. Проводился сплошной перечет деревьев и определялся запас в фитомассе. Далее оценивалась фитомасса подземной и наземной частей модельных деревьев сосны (Усольцев, Залесов, 2005; Видовые особенности..., 2024). Расчет углероддепонирующего потенциала проводился по методике Минприроды РФ (2017). Учитывались ступень толщины дерева и категория, к которой она относилась, – подрост или древостой.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием метода дисперсионного анализа (Шевелина, Нуриев, 2022).

Результаты и их обсуждение

По результатам учета на пробных площадях был определен запас по ступеням толщины и рассчитана фитомасса на основе данных отобранных модельных деревьев и пересчитанных на 1 га для каждого района исследования (рис. 1).

Способность древостоев к накоплению фитомассы и депонированию углерода во многом зависит от их географического расположения, лесорастительных условий и породного состава насаждений (Чураков и др., 2011).

В зональном ряду почв идет увеличение как фитомассы сосновых молодняков, так и их углероддепонирующей функции (рис. 2–3).

Полученные расчеты по депонированию углерода в молодняках сосны естественного и искусственного происхождения показали различный объем депонирования углерода в древесной фитомассе. На рис. 4 можно видеть различный характер депонирования углерода в деревьях разной категории крупности.

Для выявления достоверных различий по депонированию углерода в сосновых молодняках на постагротененных землях региона исследования был проведен однофакторный дисперсионный анализ по критерию Фишера. При сравнении всех четырех опытных объектов оценка факторной дисперсии оказалась больше оценки остаточной дисперсии, поэтому можно утверждать о несправедливости нулевой гипотезы о равенстве математических ожиданий по слоям выборки.

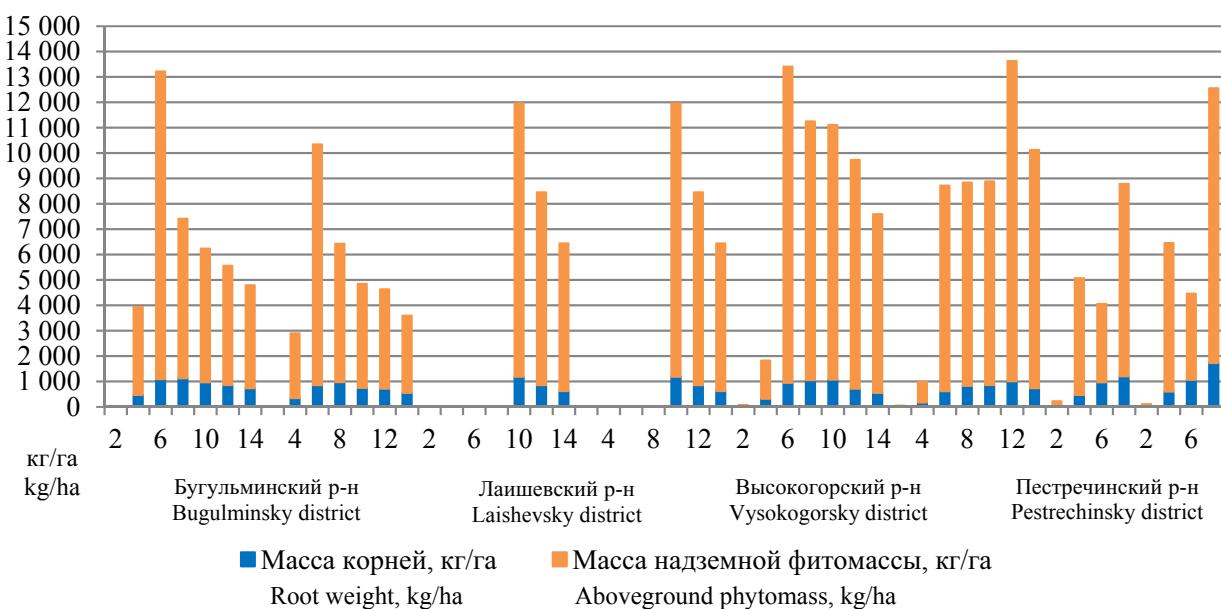


Рис. 1. Распределение фитомассы по ступеням толщины деревьев сосновых молодняков на постагротехнических землях в различных районах РТ

Fig. 1. The distribution of phytomass by tree diameter classes in juvenile pine stands on post-agricultural lands in various regions of the Republic of Tatarstan

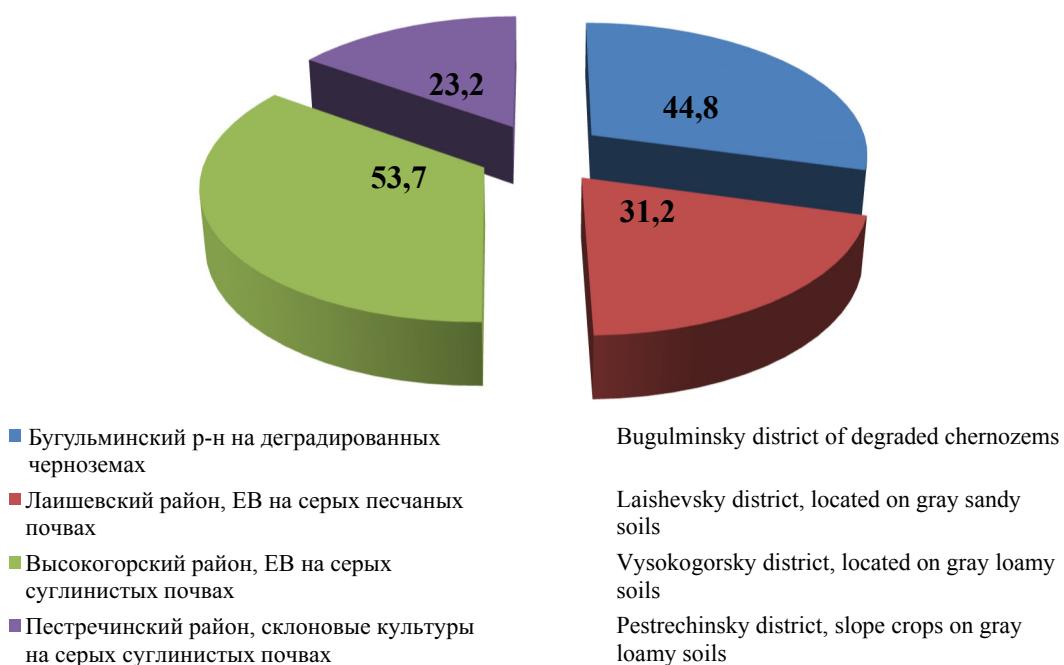


Рис. 2. Общий объем фитомассы, т/га, молодняков сосны на постагротехнических землях районов исследования в РТ

Fig 2. Total phytomass volume per hectare in juvenile pine stands on post-agricultural lands across the study regions of the Republic of Tatarstan

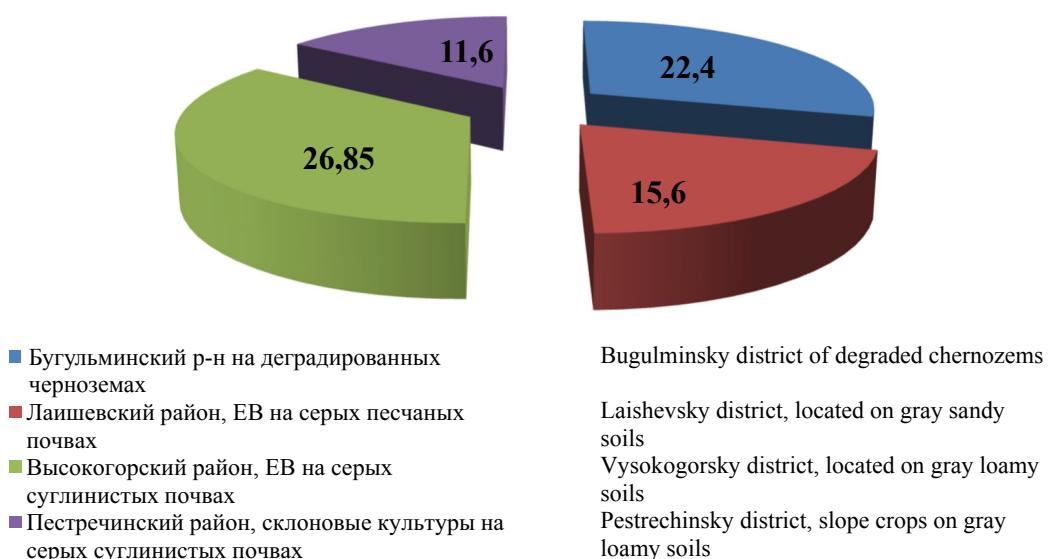


Рис. 3. Общий объем депонирования углерода, т/га, сосновых молодняков на постагрених землях районов исследования в РТ

Fig. 3. Total carbon sequestration volume per hectare in juvenile pine stands on post-agricultural lands across the study regions of the Republic of Tatarstan

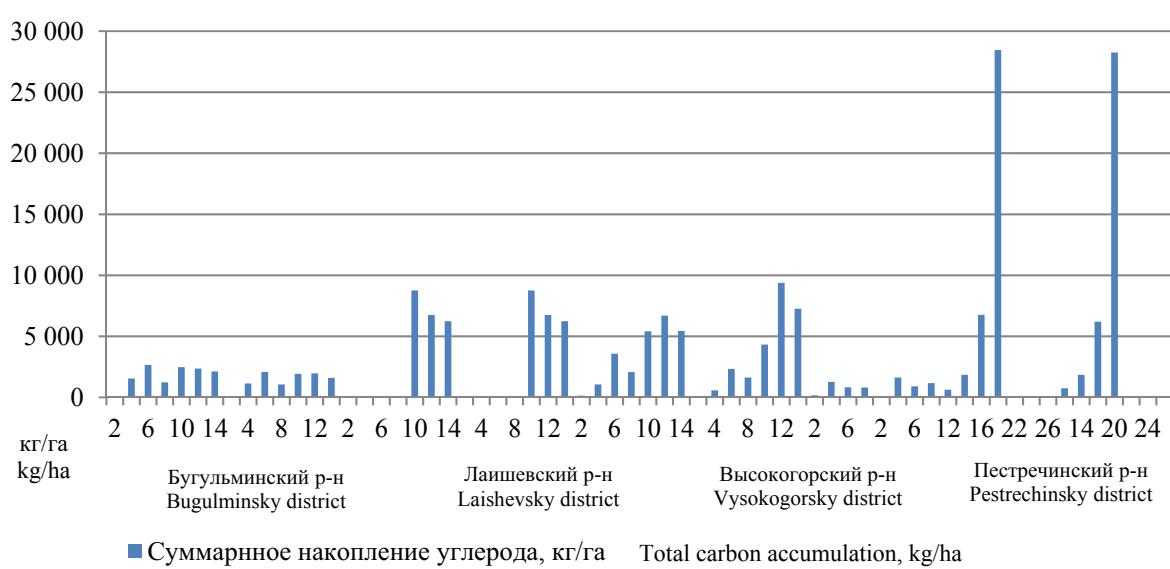


Рис. 4. Количество депонируемого углерода, кг/га, по ступеням толщины в сосновых молодняках в районах исследования в РТ

Fig. 4. Amount of sequestered carbon, kg/ha, by diameter classes in juvenile pine stands across the study regions of the Republic of Tatarstan

Иначе говоря, в данном примере фактор района исследования и почв в том числе оказывает существенное влияние на случайную величину. Проверим нулевую гипотезу H_0 : равенство средних значений x .

Находим $f_{набл}$:

$$f_{набл} = \frac{25216761,98}{2051417,08} = 12,29. \quad (1)$$

Для уровня значимости $\alpha = 0,01$, чисел степеней свободы 3 и 39 находим f_{kp} из таблицы распределения Фишера – Сnedекора. $f_{kp}(0,01; 3; 39) = 4,3126$.

В связи с тем, что $f_{набл} > f_{kp}$, нулевую гипотезу о существенном влиянии фактора на результаты экспериментов принимаем (нулевую гипотезу о равенстве групповых средних отвергаем).

Другими словами, групповые средние запасов углерода по ступеням толщины по районам исследования в целом различаются значимо.

Дисперсионный анализ различий по естественно возобновившимся сосновым молоднякам по районам исследования РТ также показал, что $f_{\text{набл}} = 10,04$. Для уровня значимости $\alpha = 0,01$, чисел степеней свободы 2 и 31 находим f_{kp} из таблицы распределения Фишера – Сnedекора:

$$f_{kp} (0,01; 2; 31) = 5,3363. \quad (2)$$

В связи с тем, что $f_{\text{набл}} > f_{kp}$, нулевую гипотезу о существенном влиянии фактора на результаты экспериментов принимаем (нулевую гипотезу о равенстве групповых средних отвергаем). Другими словами, групповые средние в целом

различаются значимо и, следовательно, имеются достоверные различия накопления фитомассы по ступеням толщины.

Выводы

1. Исследование показало достоверные различия накопления углерода сосновыми молодняками по ступеням толщины стволов по районам исследования.

2. Наибольшее депонирование углерода происходит в более крупных деревьях сосны, несмотря на большую представленность деревьев в остальных ступенях.

3. С продвижением от лесостепной к хвойно-широколиственной зоне увеличивается углерод-депонирующая функция сосновых естественных молодняков.

Список источников

- Видовые особенности изменения содержания сухого вещества в древесине и коре вдоль по стволу дерева / В. А. Усольцев, Н. И. Плюха, И. С. Цепордей, Е. М. Ангалты // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 4 (91). С. 130–142.
- Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах / В. М. Телеснина, И. Н. Курганова, В. О. Леос де Гереню [и др.] // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
- Дмитриев А. В., Леднев А. В. Баланс углерода на постагрогенных дерново-подзолистых почвах // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93, № 5. С. 445–455.
- Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов / А. Н. Филипчук, Н. В. Малышева, Т. А. Золина, А. А. Селезнев // Лесохозяйственная информация. 2024. С. 29–55.
- Королева Т. С., Шунькина Е. А. Обзор мирового опыта консервации углерода в существующих лесных резервуарах // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 4. С. 22–39.
- Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов : утв. распоряжением МПР РФ от 30.06.2017 г. № 20. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (дата обращения: 10.07.2025).
- Наквасина Е. Н., Шумилова Ю. Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 1 (379). С. 46–59.
- Новоселова Н. Н., Залесов С. В., Магасумова А. Г. Формирование древесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 106 с.
- Особенности естественного восстановления лесных экосистем на бывших сельскохозяйственных землях (на примере южного агроклиматического района Карелии) / Е. В. Мошкина, М. В. Медведева, А. В. Туюнен [и др.] // Биосфера. 2019. № 3. С. 134–145.
- Оценка состояния лесных и постагрогенных почв Ленинградской области и перспективы интенсивного лесовыращивания на этих территориях / Д. А. Данилов, А. В. Жигунов, Б. Н. Рябинин, А. А. Вайман // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 223. С. 47–63.

- Рекомендации по созданию защитных лесных насаждений в агроландшафтах Прикамья Республики Татарстан / А. Т. Сабиров, И. Р. Галиуллин, Р. Ф. Хузиев [и др.]. Казань : Изд-во Казанского ГАУ, 2009. 38 с.
- Сабиров А. Т., Шагидуллин Р. Р., Ульданова Р. А. Программа исследования аккумуляции углерода в лесных экосистемах // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 4 (36). С 4–11.
- Технологическая реализация лесоводственных мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение лесами функций депонирования и консервации углерода / В. И. Желдак, Э. В. Дорощенкова, А. Н. Сычева [и др.] // Лесохозяйственная информация. 2023. № 3. С. 5–25.
- Усольцев В. А., Залесов С. В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 147 с.
- Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагрогенных землях / Д. А. Данилов, А. А. Яковлев, С. А. Суворов [и др.] // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 1. С. 65–76.
- Чернова О. В., Рыжова И. М., Подvezенная М. А. Изменение величины и структуры запасов углерода в регионах южной тайги и лесостепи Европейской России за исторический период // Живые и биокосные системы. 2017. № 19.
- Чураков Б. П., Парамонова Т. А., Корнилина В. В. Сравнительный анализ фитомассы и депонированного углерода в сосновых и осиновых древостоях в связи с возможной их сменой // Ульяновский медико-биологический журнал. 2011. № 3. С. 140–147.
- Шевелина И. В., Нуриев Д. Н. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде Statistica. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 112 с.

References

- Assessment of the state of forest and postagrogenic soils in the Leningrad region and prospects for intensive reforestation in these territories / D. A. Danilov, A. V. Zhigunov, B. N. Ryabinin, A. A. Vayman // Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. 2018. № 223. P. 47–63. (In Russ.)
- Carbon reserves in the phytomass of Russian forests: a new quantitative assessment based on data from the first cycle of the state forest inventory / A. N. Filipchuk, N. V. Malysheva, T. A. Zolina, A. A. Seleznev // Forestry information. 2024. P. 29–55. (In Russ.)
- Chernova O. V., Ryzhova I. M., Podvezennaya M. A. Changes in the size and structure of carbon reserves in the regions of the southern taiga and forest-steppe of European Russia over the historical period // Living and biokos systems. 2017. № 19. (In Russ.)
- Churakov B. P., Paramonova T. A., Kornilina V. V. Comparative analysis of phytomass and deposited carbon in pine and aspen stands in connection with their possible replacement // Ulyanovsk Medical and Biological Journal. 2011. № 3. P. 140–147. (In Russ.)
- Dmitriev A. V., Lednev A. V. Carbon balance on postagrogenic sod-podzolic soils // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. Vol. 93, № 5. P. 445–455. (In Russ.)
- Dynamics of soil properties and vegetation composition during post-agrarian development in different bioclimatic zones / V. M. Telesnina, I. N. Kurganova, V. O. Leos de Guerenu [et al.] // Soil Science. 2017. № 12. P. 1514–1534. (In Russ.)
- Features of natural restoration of forest ecosystems on former agricultural lands (on the example of the southern agro-climatic region of Karelia) / E. V. Moshkina, M. V. Medvedeva, A. V. Tuyunen [et al.] // Biosphere. 2019. № 3. P. 134–145. (In Russ.)
- Formation of aboveground phytomass of deciduous tree species on postagrogenic lands / D. A. Danilov, A. A. Yakovlev, S. A. Suvorov [et al.] // Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2023. № 1. P. 65–76. (In Russ.)

- Koroleva T. S., Shunkina E. A. Review of the world experience of carbon conservation in existing forest reservoirs // Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. 2014. № 4. P. 22–39. (In Russ.)*
- Methodological guidelines for the quantitative determination of greenhouse gas uptake : Approved by the Decree of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation dated 30.06.2017 № 20. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456079177> (accessed 10.07.2025).*
- Nakvasina E. N., Shumilova Yu. N. The dynamics of carbon reserves during the formation of forests on postagrogenic lands // Izvestiya vuzov. Forest magazine. 2021. № 1 (379). P. 46–59. (In Russ.)*
- Novoselova N. N., Zalesov S. V., Magasumova A. G. Formation of woody vegetation on former agricultural lands. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2016. 106 p.*
- Recommendations for the creation of protective forest plantations in the agro-landscapes of the Kama region of the Republic of Tatarstan / A. T. Sabirov, I. R. Galiullin, R. F. Khuziev [et al.]. Kazan : Publishing House of the Kazan State Agrarian University, 2009. 38 p.*
- Sabirov A. T., Shagidullin R. R., Uldanova R. A. Carbon accumulation research program in forest ecosystems // Russian Journal of Applied Ecology. 2023. № 4 (36). P. 4–11. (In Russ.)*
- Shevelina I. V., Nuriev D. N. Statistical processing of forestry and taxation information in the Statistica environment. Yekaterinburg : UGLTU, 2022. 112 p.*
- Specific features of changes in the content of dry matter in wood and bark along the trunk of a tree / V. A. Usoltsev, N. I. Plukha, I. S. Tsepordey, E. M. Anhalt // Forests of Russia and economy in them. 2024. № 4 (91). P. 130–142. (In Russ.)*
- Technological implementation of forestry measures ensuring the effective performance by forests of the functions of carbon deposition and conservation / V. I. Zheldak, E. V. Doroshchenkova, A. N. Sycheva [et al.] // Forestry information. 2023. № 3. P. 5–25. (In Russ.)*
- Usoltsev V. A., Zalesov S. V. Methods for determining biological productivity of plantings. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2005. 147 p.*

Информация об авторах

Н. Ф. Гибадулин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
И. В. Бачериков – кандидат технических наук, математик-аналитик;
С. В. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about authors

N. F. Gibadullin – Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor;
I. V. Bacherikov – Candidate of Technical Sciences, mathematician;
S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 09.08.2025; принята к публикации 20.09.2025.
The article was submitted 09.08.2025; accepted for publication 20.09.2025.
