



УДК 630*161.32:582.47(571.53)
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.53.73>

Секвестеризация углерода хвойными и лиственными лесами Бурятии

В. А. Осколков¹, Г. Г. Суворова¹, В. И. Воронин¹, С. Г. Швецов^{1,2*}

¹Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

E-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Аннотация. Выполнена оценка количества углерода в почвенном пуле, в пулах углерода хвойных и лиственных лесов, и оценены два основных потока углерода – чистой первичной продукции (NPP) и отпада хвойных и лиственных лесов, произрастающих на землях лесного фонда и землях обороны Республики Бурятия. На базе суммарного показателя NPP рассчитана удельная углеродпоглощающая активность хвойных и лиственных лесов республики.

Ключевые слова: хвойные леса, лиственные леса, поглощение углерода, Республика Бурятия.

Для цитирования: Секвестеризация углерода хвойными и лиственными лесами Бурятии / В. А. Осколков, Г. Г. Суворова, В. И. Воронин, С. Г. Швецов // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2025. Т. 53. С. 73–79. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.53.73>

Short communication

Sequestration of Carbon by Coniferous and Deciduous Forests of Buryatia

V. A. Oskolkov¹, G. G. Suvorova¹, V. I. Voronin¹, S. G. Shvetsov^{1,2*}

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The objective of this study is to assess the values of the soil carbon pool, carbon pools of coniferous and deciduous forests, as well as two main carbon flows - net primary production (NPP) and mortality of coniferous and deciduous forests growing on the lands of the forest fund and defense lands of the Republic of Buryatia. It was determined that the total carbon pool of coniferous forests reaches 752 million tons C. The total carbon pool of deciduous forests reaches 87 million tons C. The total carbon pool of the forest fund territories and defense forest lands is 2962,5 million tons C. The total NPP indicator of coniferous and deciduous forests of the Republic of Buryatia (70.4 million tons C) provides a specific carbon absorption activity equal to, with a population of 985 937 people (2020), 71.4 tons C per person per year. Buryatia is part of the vast Siberian ecological region and plays an important role in climate stabilization, as the Republic's forests are considered one of the key “carbonsinks” of the planet. Data on the amount of carbon in the soil pool and in the carbon pools of coniferous and deciduous forests of Buryatia can be used in calculations to fulfill Russia's international obligation (the Paris Agreement), which considers forests as a tool to mitigate anthropogenic emissions. In addition, boreal forests, including larch, pine and cedar forests of Burya-

tia, effectively absorb CO, especially in a fairly cool climate, where the decomposition of organic matter is slowed down, which contributes to the accumulation of carbon in soils.

Keywords: coniferous forests, deciduous forests, carbon absorption, Republic of Buryatia.

For citation: Oskolkov V.A., Suvorova G.G., Voronin V.I., Shvetsov S.G. Sequestration of Carbon by Coniferous and Deciduous Forests of Buryatia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2025, vol. 53, pp. 73-79. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.53.73> (in Russian)

К настоящему времени проведено немало исследований по оценке пулов, потоков и бюджета углерода С в лесных экосистемах. Существующие оценки чистой первичной продукции лесов России варьируют более чем вдвое – от 204 до 614 г С/м² в год [Динамика ... , 2005; Моисеев, Алябина, 2007; Shvidenko, Nilsson, 2002; Швиденко, Щепашенко, 2014; Soil ... , 2015]. По расчётам, проведённым с использованием базы данных первичной биологической продукции фитоценозов России [Базилевич, 1993], для лесных фитоценозов европейской части России характерно изменение значений чистой первичной продукции (NPP) в диапазоне от 4,3 (северотаёжные сосновые леса) до 13,6 т/га в год (приуральские липовые леса). Продуктивность лесов Сибири и Дальнего Востока изменяется в диапазоне от 3 (заросли кедрового стланика и ольховника) до 11 т/га в год (дальневосточные дубовые леса) [Голубятников, Денисенко, 2007]. Чистая первичная продукция покрытых лесной растительностью земель Иркутской области в 2003 г. оценена в 198,1 млн т С/год, что составляет 3,15 т С/га в год. Средняя величина NPP хвойных лесов достигает 3,25 т С/га в год с колебаниями от 2,68 (сосна) до 4,06 (кедр), а мягколиственных – 3,28 т С/га в год [Ващук, Швиденко, 2006]. Вместе с тем до сих пор малоизученным остаётся характер адаптивной трансформации потоков углерода в древостоях (с учётом фотосинтеза, дыхания и депонирования углерода в стволовой части дерева) при стрессовом воздействии факторов внешней среды.

Цель исследования – оценка величин углерода почвенного пула, пулов углерода хвойных и лиственных лесов, а также двух основных потоков углерода – чистой первичной продукции и отпада хвойных и лиственных лесов, произрастающих на землях лесного фонда и землях обороны Республики Бурятия.

Оценки выполнены на основе расчётов А. З. Швиденко с соавторами [Таблицы ... , 2008] с учётом рекомендаций IPCC/МГЭИК¹ и с привлечением опубликованных в литературе и полученных ранее результатов собственных исследований авторов.

Почвенный пул углерода. Расчёт пула почвенного углерода в подстилке и слое 0–30 см (С_{0–30}) проведён на базе оценок Н. Б. Хитрова с соавторами [Пространственно-временная ... , 2023], принимающих его среднее содержание равным 91,3 т С/га. Суммарный пул углерода по 38 федеральным лесничествам республики составил 1961,56 млн т, по пяти особо охраняемым при-

¹ МГЭИК, 2021: Изменение климата 2021: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / ред.: В. Массон-Дельмонт [и др.]. URL: www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf

родным территориям (ООПТ) (Байкальский, Баргузинский, Джергинский заповедники, Тункинский и Забайкальский национальные парки) – 127,7 млн т, по ведомственным землям – 34,24 млн т. Общий пул почвенного углерода равен 2123,5 млн т.

Пул углерода хвойных лесов. Хвойные древостои обладают продолжительным жизненным циклом от 300 до 3200 лет и являются наиболее эффективным для данной территории консерватором атмосферного углерода. Был определён запас хвойных древостоев, включая кедровый стланик по группам возраста по каждому федеральному лесничеству республики, ООПТ и ведомственным землям. Суммарное содержание углерода в возрастных группах хвойных древостоев на всех лесных землях Республики Бурятия приведено в табл. 1. Определено, что общий пул углерода хвойных лесов достигает 752 млн т.

Таблица 1

Распределение массы углерода в хвойных древостоях по группам возраста на территории всех лесных земель Республики Бурятия

| Группа возраста | I | II | III | IV | Всего |
|-----------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| С, тыс. т | 35 741,14 | 306 011,25 | 105 006,21 | 305 224,07 | 751 982,67 |
| % | 4,8 | 40,7 | 14,0 | 40,6 | 100 |

Примечание к табл. 1–3. Группы возраста древостоев: I – молодняки; II – средневозрастные; III – приспевающие; IV – спелые и перестойные.

Пул углерода лиственных лесов. При анализе пула лиственных лесов необходимо учитывать, что они имеют относительно короткий жизненный цикл по сравнению с хвойными породами. Были определены площади, запас и возрастная структура лиственных древостоев, включая кустарники, по отдельным лесничествам Республики Бурятия. Как показывает анализ данных, на федеральных землях преобладают средневозрастные насаждения (42 %) площадью 1 503 832 га, молодняки занимают площадь 1 336 650 (37 %), приспевающие – 269 208 га (8 %), спелые и перестойные древостои – 472 664 га (13 %). Распределение запаса по группам возраста для этих древостоев приведено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение запаса лиственных древостоев на федеральных лесных землях Республики Бурятия

| Группа возраста | I | II | III | IV | Всего |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Запас, тыс. м ³ | 14 644,4 | 64 583,3 | 25 482,0 | 67 645,6 | 172 355,3 |
| % | 9 | 37 | 14 | 39 | 100 |

Аналогично были проанализированы данные по лиственным древостоям ООПТ и ведомственных земель. В целом распределение углерода в лиственных лесах на всех лесных участках (табл. 3) сходно с распределением его запасов на федеральных землях. Общий пул углерода лиственных лесов достигает 87 млн т.

Таблица 3

Распределение массы углерода в лиственных древостоях по группам возраста на территории всех лесных земель Республики Бурятия

| Группа возраста | I | II | III | IV | Всего |
|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Масса С, тыс. т | 7378,29 | 32 798,21 | 12 703,51 | 34 116,69 | 86 996,70 |
| % | 8,5 | 37,7 | 14,6 | 39,2 | 100 |

Полученные данные свидетельствуют, что наибольший объём углерода находится в почвенном пуле и составляет 2123,5 млн т (71,7 %), в пуле хвойных лесов содержится 752 млн т (25,4 %), в пуле лиственных лесов – 87 млн т (2,9 %). Общий пул углерода территорий лесного фонда и лесных земель обороны равен 2962,5 млн т.

Потоки углерода в хвойных древостоях. Для расчёта чистой первичной продукции использованы данные Г. Г. Суворовой [2009]. Сумма NPP по всем породам достигает 69 млн т С/год (табл. 4). Наиболее эффективно поглощают атмосферный углерод (образуют фитомассу) лиственничные древостои (70 % от всей суммы чистой первичной продукции по всем породам), наименее эффективно (1 %) – еловые леса (табл. 4).

Таблица 4

Основные потоки углерода в хвойных древостоях на территории всех лесничеств Республики Бурятия

| | Сосновые | Еловые | Пихтовые | Лиственничные | Кедровые | Всего |
|---|----------|--------|----------|---------------|----------|-------|
| Чистая первичная продукция NPP, млн т С | 10,79 | 0,71 | 1,08 | 48,56 | 7,82 | 68,96 |
| % | 15,6 | 1,0 | 1,6 | 70,4 | 11,3 | 100 |
| Отпад, млн т С | 0,87 | 0,05 | 0,05 | 4,32 | 0,40 | 5,69 |
| % | 15,4 | 0,8 | 0,9 | 75,9 | 4,0 | 100 |

Для расчёта отпада в хвойных древостоях были использованы обобщённые данные [Таблицы ... , 2008] о том, что в расчёте от NPP по всем группам возраста отпад в региональных модальных сосновых древостоях III класса бонитета составляет 8,05 %, еловых – 6,82 %, пихтовых – 4,70 %, лиственничных – 8,93 %, кедровых – 5,14 %. Определено, что суммарный отпад по всем породам достигает 5,7 млн т С/год.

Потоки углерода в лиственных древостоях. Средний возраст лиственных древостоев по группам возраста считали в группе I равным 15 лет, II – 30 лет, III – 50 лет, IV – 80 лет. Для расчётов были использованы таблицы хода роста модальных древостоев III класса бонитета лесостепных экорегионов Сибири [Таблицы ... , 2008]. В процессе расчёта NPP лиственных пород и кустарников были использованы следующие процентные соотношения: для группы возраста I NPP составляет 30 % от общей фитомассы, II – 16,5 %, III – 10 %, IV – 7,3 % [Таблицы ... , 2008]. Отпад в лиственных древостоях по группе возраста I составляет 6 %, II – 3,5 %, III – 1,5 %, IV – 0,4 % от общей фитомассы. Определено, что суммарная NPP лиственных древостоев достигает 11,4 млн т С/год, отпад – 1,9 млн т С. Наиболее продуктивно ассимилируют атмосферный углерод средневозрастные древостои (табл. 5). Высокий процент отпада характеризует интенсивный процесс изреживания древостоев этой группы.

Таблица 5

Чистая первичная продукция и отпад по группам возраста
в лиственных древостоях на всех лесных землях Республики Бурятия

| Группа возраста | I | II | III | IV | Всего |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| NPP, тыс. т С | 2213,49 | 5411,70 | 1270,35 | 2490,52 | 11 386,06 |
| % | 19,4 | 47,5 | 11,2 | 21,9 | 100 |
| Отпад, тыс. т С | 442,70 | 1147,94 | 190,55 | 136,47 | 1917,65 |
| % | 23,1 | 59,9 | 9,9 | 7,1 | 100 |

Удельный показатель NPP наземных биомов по России составляет 5,8 т С на человека в год [Федоров, 2004]. Суммарный показатель NPP хвойных и лиственных лесов Республики Бурятия (70,4 млн т С) при численности населения 985 937 чел. (по состоянию на 2020 г.) обеспечивает удельную углеродпоглощающую активность, равную 71,4 т С на человека в год. Этот показатель в 12,3 раза превосходит удельный показатель по России и в 178,5 раз – (0,4 т С/чел) глобальный удельный показатель.

Лесные массивы республики покрывают более 80 % территории, среди них хвойные породы значительно преобладают, их доля составляет около 80 %. Лесные экосистемы данного региона служат крупным резервуаром углерода, связывая его в биомассе, древесине и почве.

Результаты проведённого исследования позволяют сделать вывод, что хвойные и лиственные леса Бурятии вносят значительный вклад в сохранение и регулирование глобальных и общероссийских органических пулов и потоков углерода.

Список литературы

- Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
- Вашук Л. Н., Швиденко А. З. Динамика лесных пространств Иркутской области. Иркутск: Иркут. обл. тип. № 1, 2006. 392 с.
- Голубятников Л. Л., Денисенко Е. А. Модельные оценки влияния изменений климата на ареалы зональной растительности равнинных территорий России // Известия РАН. Серия биологическая. 2007. № 2. С. 212–228.
- Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России / Д. Г. Замолотчиков, А. И. Уткин, Г. Н. Коровин, О. В. Честных // Экология. 2005. № 3. С. 323–333.
- Моисеев Б. Н., Алябина И. О. Оценка и картирование составляющих углеродного и азотного балансов в основных биомах России // Известия РАН. Серия географическая. 2007. № 5. С. 1–12.
- Пространственно-временная изменчивость содержания и запасов органического вещества почвы: аналитический обзор / Н. Б. Хитров, Д. А. Никитина, Е. А. Иванова, М. В. Семенова // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1493–1521. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600841>
- Суворова Г. Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: Гео, 2009. 195 с.
- Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй. М.: Федер. агентство лес. хоз-ва МСХ РФ, 2008. 886 с.
- Федоров Б. Г. Экономико-экологические аспекты выбросов углекислого газа в атмосферу // Проблемы прогнозирования. 2004. № 5. С. 86–101.

Филипчук А. Н., Моисеев Б. И. Вклад лесов России в углеродный баланс планеты // Лесохозяйственная информация. 2004. № 3. С. 35–52.

Швиденко А. З., Щепашенко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.

Shwidenko A., Nilsson S. Dynamics of Russian forests and the carbon budget in 1961-1998: An assessment based on long-term forest inventory data // *Climatic Change*. 2002. Vol. 55. P. 5–37. <https://doi.org/10.1023/A:1020243304744>

Soil contribution to carbon budget of Russian forests / L. Mukhortova, D. Schepaschenko, A. Shwidenko, I. McCallum, F. Kraxner // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 200 P. 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.017>

References

Bazilevich N.I. *Biologicheskaya produktivnost' ekosistem Severnoi Evrazii* [Biological productivity of ecosystems of Northern Eurasia]. Moscow, Nauka publ., 1993, 293 p. (in Russian)

Vashchuk L.N., Shwidenko A.Z. *Dinamika lesnykh prostranstv Irkutskoi oblasti* [Dynamics of forest areas of the Irkutsk region]. Irkutsk, Irkutckaya oblastnaya tipografiya, 2006, 392 p. (in Russian)

Golubyatnikov L.L., Denisenko E.A. Model' nye ocenki vliyaniya izmenenii klimata na arealy zonal' noi rastitel' nosti ravninnykh territorii [Model assessments of the impact of climate change on the areas of zonal vegetation of the flat territories of Russia]. *Biol. Bull.*, 2007, no. 2, pp. 212-228. (in Russian)

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N., Chestnykh O.V. Dinamika pulov i potokov ugleroda na territorii lesnogo fonda Rossii [Dynamics of carbon pools and flows in the territory of the forest fund of Russia]. *Rus. J. Ecol.*, 2005, no. 3, pp. 323-333. (in Russian)

Moiseev B.N., Alyabina I.O. Otsenka i kartirovanie sostavlyayushchikh uglerodnogo i azotnogo balansov v osnovnykh biomakh Rossii [Assessment and mapping of components of carbon and nitrogen balances in the main biomes of Russia]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2007, no 5, pp. 1-12 (in Russian)

Khitrov N.B., Nikitina D.A., Ivanova E.A., Semenova M.V. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' soderzhaniya i zapasov organicheskogo veshhestva pochvy: analiticheskii obzor [Spatio-temporal variability of the content and reserves of soil organic matter: an analytical review]. *Eurasian Soil Sci.*, 2023, no. 12, pp. 1493-1521. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600841> (in Russian)

Suvorova G.G. *Fotosintez khvoinykh dereviev v usloviyakh Sibiri* [Photosynthesis of coniferous trees in Siberia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2009, 195 p. (in Russian)

Shwidenko A.Z., Schepaschenko D.G., Nilsson S., Bului Yu.I. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdenii osnovnykh lesoobrazuyushikh porod Severnoi Evrazii* [Tables and models of the growth and productivity of stands of the main forest-forming species of Northern Eurasia]. Moscow, Federal Forestry Agency Publ., 2008, 886 p. (in Russian)

Fedorov B.G. Ekonomiko-ekologicheskie aspekty vybrosov uglekislogo gaza v atmosferu [Economic and ecological aspects of carbon dioxide emissions into the atmosphere]. *Studies on Russian Economic Development*, 2004, no. 5, pp. 86-101. (in Russian)

Filipchuk A.N., Moiseev B.I. Vklad lesov Rossii v uglerodnyi balans planety [Contribution of Russian forests to the carbon balance of the planet]. *Forestry information*, 2004, no 3, pp. 35-52. (in Russian)

Shwidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. Uglerodnyi byudzhel lesov Rossii [Carbon budget of forests of Russia]. *Siberian J. Forest Sci.*, 2014, no. 1, pp. 69-92. (in Russian)

Shwidenko A., Nilsson S. Dynamics of Russian forests and the carbon budget in 1961-1998: An assessment based on long-term forest inventory data. *Climatic Change*, 2002, vol. 55, pp. 5-37. <https://doi.org/10.1023/A:1020243304744>

Mukhortova L., Schepaschenko D., Shwidenko A., McCallum I., Kraxner F. Soil contribution to carbon budget of Russian forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, vol. 200, pp. 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.017>

Сведения об авторах

Осколков Владимир Александрович

кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132
e-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Суворова Галина Георгиевна

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132
e-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Воронин Виктор Иванович

доктор биологических наук,
главный научный сотрудник
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132
e-mail: bioin@sifibr.irk.ru

Швецов Сергей Георгиевич

кандидат биологических наук,
ведущий технолог
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132
доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003 г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: sv833890@gmail.com

Information about the authors

Oskolkov Vladimir Aleksandrovich

Candidate of Sciences (Biology),
Leading Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Suvorova Galina Georgievna

Doctor of Sciences (Biology),
Leading Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: vosk@sifibr.irk.ru

Voronin Viktor Ivanovich

Doctor of Sciences (Biology),
Principal Research Scientist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: bioin@sifibr.irk.ru

Shvetsov Sergey Georgievich

Candidate of Sciences (Biology),
Leading Technologist
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132, Lermontov st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Associate Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: sv833890@gmail.com