

УДК 630*161.32:630*907.3

Л. Н. Рожков

Белорусский государственный технологический университет

**ГОДИЧНАЯ АБСОРБЦИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В СВЯЗИ С ВОЗРАСТОМ**

Рассматривается проблема отношения к старовозрастным лесам в процессе лесопользования. Объектами исследования явились: сосняки Негорельского лесничества, в течение 67-летнего периода используемые в природоохранном режиме; сосняки заповедной зоны Беловежской пуши. Установлены для сосновых древостоев в связи с возрастом средние запасы, содержание углерода, среднее изменение депонирования углерода и годовая абсорбция углекислого газа сосновыми древостоями. Отмечено, что наибольшей интенсивностью «стока» CO_2 обладают сосновые древостои второго-пятого классов возраста. В седьмом и старше классах возрастов сосновые древостои становятся источником «эмиссии» углекислого газа. Обсуждается свойство лесов секвестрировать органический углерод в почве. В условиях перехода значительных площадей сосновых насаждений Беларуси в спелые и увеличения при этом объемов заготовки древесины важно правильно учесть эколого-экономические интересы лесопользования и исключительную роль лесов в поглощении атмосферного углекислого газа.

Ключевые слова: старовозрастные леса, депонирование углерода лесами в связи с возрастом, годовая абсорбция CO_2 лесами.

L. N. Rozhkov

Belarusian State Technological University

**ANNUAL AGE-RELATED ABSORPTION
OF CARBON DIOXIDE BY PINE STANDS**

The paper focuses on the issue of attitude to old forests in the process of forest use. The objects of research were pine stands of Negoreloye forestry station which have been conservation forests for 67 years and pine forests of Belovezhskaya Pushcha. The following age-related values have been established for the old pine forests: average stock, carbon content, average change of carbon sequestration and annual absorption of carbon dioxide. It has been noted that pine stands of age classes 2-5 have the largest CO_2 “stock” capacity. Those of age classes 6 and 7 have become sources of carbon dioxide emission. The paper considers the carbon sequestration capacity of forests. Considerable areas of pine forests in Belarus are currently transferring into mature forests and timber harvest volumes are increasing, therefore it is important to take account of environmental and economic interests of forest use and the exception role of forests in carbon dioxide absorption.

Key words: old forests, age-related carbon sequestration, annual CO_2 absorption by forests.

Введение. На двадцать четвертой сессии Конференции РКИК ООН об изменении климата (Катовице, Польша, 2–14 декабря 2018 г.) в очередной раз подтверждено, что леса являются ключевым компонентом для достижения целей Парижского климатического соглашения, играют решающую роль в депонировании и хранении углерода в почве, деревьях и другой растительности, а также в предоставлении товаров, ресурсов и материалов с меньшим углеродным следом [1].

В фитомассе лесов планеты связано 296 млрд т С-эквивалента углерода, что составляет 52,2% от его массы в атмосфере [2]. Это свидетельствует об исключительной миссии лесов – секвестрации и выводе из планетарного биокруговорота атмосферного диоксида углерода.

Но последние 25 лет углеродосеквестрационная функция лесов планеты оказалась практически исчерпанной. Годовая абсорбция углекислого газа лесами планеты за 1990–2015 гг. составляла в среднем 0,18 т $\text{CO}_2/\text{га}/\text{год}$. К примеру, по нашим исследованиям годовая абсорбция лесов Беларуси составляет 4,91 т $\text{CO}_2/\text{га}/\text{год}$, т. е. в 27 раз больше [3].

Леса являются объектом заготовки древесины, главным образом посредством рубки в возрасте спелости. Спелость по максимальному депонированию углерода соответствуют экономической спелости леса, возрасты рубки которой еще не установлены [4]. В настоящее время в Беларуси для расчетов возраста рубки В. Ф. Багинским и О. В. Лапицкой [4, с. 116] предложены возрасты экологической спелости древостоев Беларуси. Вычисленные возрасты

экологической спелости примерно на класс возраста выше возраста рубки в эксплуатационных лесах и соответствуют возрастам рубки в других категориях, таких как защитные и т. д. [4, с. 117].

Изложенное выше обращает внимание на дискуссионную проблему оценки годичной абсорбции углекислого газа старовозрастными лесами в сравнении с молодняками, средневозрастными и т. п.

Исследования, проведенные в университете Бирмингема [5], показывают, что более половины поглотителей углерода в лесах мира находятся в районах, где деревья относительно молоды – возрастом до 140 лет.

Л. Поортер из Вагенингенского университета (Нидерланды) по материалам исследования лесов в нетропических районах Южной и Центральной Америки отметил, что вторичные леса обладают огромным потенциалом с точки зрения поглощения углерода: «Один гектар таких лесов может поглощать до трех тонн углерода ежегодно. Это в 11 раз больше, чем поглощает обычный старовозрастный лес. Но леса выполняют самые различные функции. Старовозрастные леса полезны, поскольку удерживают большие объемы углерода, а молодые – тем, что активнее поглощают атмосферный углерод» [6].

Из материалов статьи «Европейские леса стареют и теряют способность эффективно поглощать углекислый газ», опубликованной в журнале «Nature Climate Change», следует: «Примерно треть европейских лесов составляют крайне дряхлые и пожилые деревья, что мешает им эффективно поглощать “лишний” CO_2 в атмосфере и фиксировать его в виде дополнительной биомассы. Это говорит о необходимости пересмотра их вклада в замедление глобального потепления в климатических моделях. Дальнейшее старение европейских лесов приведет к еще более значительному ухудшению их способности по замедлению глобального потепления» [7].

В противоположность этому исследования группы специалистов в старовозрастных лесах на юге Китая показали, что эти леса способны с большой скоростью поглощать углекислый газ из атмосферы за счет накопления органического вещества в поверхностных горизонтах почвы. За период с 1979 по 2003 гг. в почве этих лесов происходило накопление углерода в среднем $0,61 \text{ т С/га/год}$ [8].

По оценке [9] леса возрастом 200 лет и старше ежегодно поглощают в среднем $(2,4 \pm 0,8) \text{ т С/га/год}$. Разработанная авторами [9] модель показывает, что старовозрастные леса ежегодно аккумулируют $(0,4 \pm 0,1) \text{ т С/га/год}$ в стволовой

биомассе и $(0,7 \pm 0,2) \text{ т С/га/год}$ в грубом древесном опаде. Это означает, что примерно $(1,3 \pm 0,8) \text{ т С/га/год}$ секвестрированного углерода приходится на корни и органическое вещество почвы.

Текущий прирост углерода стволовой древесины у нормальных сосновых древостоев с учетом класса бонитета при модальной полноте из данных В. Ф. Багинского и О. В. Лапицкой [4, табл. 26 и 27] составляет по классам возраста, т С/га/год : I – 0,83, II – 2,29, III – 2,70, IV – 2,30, V – 1,71, VI – 1,19, VII – 0,87, VIII – 0,78, IX – 0,67, X – 0,53 и >X – 0,38.

Основная часть. Объектами исследования явились сосновые древостои природоохранного режима лесопользования Негорельского учебно-опытного лесхоза БГТУ [10] и старовозрастные сосняки Беловежской пуши [11]. По материалам лесоустройства установлены возраст, природный состав, средний запас древостоев. На основе утвержденной для лесов Беларуси методики [12] выполнены для фитомассы древостоев (ствол + сучья и ветви + хвоя + пень и корни) расчеты содержания углерода, среднего изменения депонированного углерода и годичной абсорбции углекислого газа (таблица).

Естественная эволюция (1947–2014 гг.) сосновой формации Негорельского лесничества площадью $174,0 \text{ га}$ отличается устойчивым трендом повышения среднего запаса (+154%), заметным снижением среднего прироста древесного запаса у древостоев конца пятого и старше классов возраста, появлением возобновления (подроста) сосны и ели у древостоев III–IX классов возраста (50,9% занимаемой ими площади) без формирования ярусов.

Сосновые насаждения заповедной зоны Беловежской пуши занимают 53,3% ($28\,968,6 \text{ га}$) площади зоны. Средний возраст сосновых древостоев – 140 лет, средняя полнота – 0,63, средний состав по первому ярусу – 8,4С0,93Е0,7Бб+Д, Ос, Бп, Олч, Г, Лп, Я, Кл. Более 20% сосновых насаждений являются двухъярусными. Средний состав второго яруса – 8,8Е1,2Г+С,Д, Бб, Олч, Ос, Лп, Бп, Я, Кл, средний возраст – 66 лет, средняя полнота – 0,32.

Среди анализируемых 5529 таксационных выделов сосны представлены в I–III классах возраста 2,1% их количества, IV – 26,2%, V – 5,1%, VI – 4,2%, VII – 6,6%, VIII – 10,1%, IX – 17,0%, X – 11,5%, XI – 5,7% и т. д.

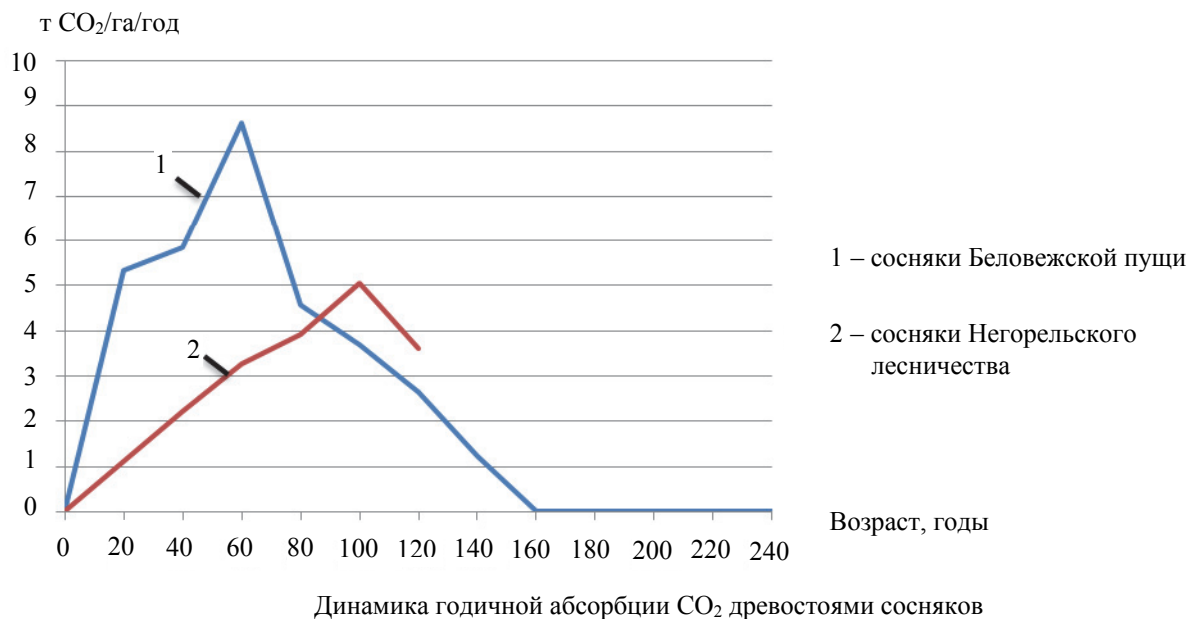
В лесах заповедной зоны наблюдается широкомасштабная агрессивная экспансия *Picea abies*. На 67,3% площади сосняков имеется еловый подрост, на 21,8% площади сформировался второй ярус из ели.

Углеродопродуктивность сосновых древостоев в связи с возрастом

Средний возраст в пределах классов возраста, лет	Средний запас, м ³ /га	Углерод фитомассы древостоя, т С/га	Среднее изменение депонирования углерода древостоем, т С/га/год	Годичная абсорбция углекислого газа древостоем, т CO ₂ /га/год
Сосняки природоохранного режима Негорельского лесничества				
56	133	50,01	0,89	3,27
77	235	88,36	1,15	3,91
92	312	117,31	1,28	5,05
101	338	127,09	1,26	3,59
Сосняки заповедной зоны ГПУ НП «Беловежская пуща»				
13	50	18,8	1,45	5,32
34	139	52,3	1,54	5,85
57	283	130,9	2,30	8,62
76	451	157,6	2,03	4,57
92	467	173,7	1,89	3,69
113	509	188,8	1,67	2,64
136	529	196,4	1,44	1,21
156	541	200,7	1,29	-0,03
176	532	196,1	1,11	-0,03
194	530	195,1	1,00	-0,02
214	533	194,8	0,91	-0,02
232	526	194,4	0,84	-0,01

В таблице представлены показатели углеродопродуктивности сосновых древостоев. Показатели сосновых древостоев включают как сосновый, так и еловый элементы леса (ярусы) при их наличии. Древостои сосновых насаждений увеличивают депонирование углерода с возрастом (I класс – 18,8, XII класс – 194,4 т С/га). Темпы депонирования углерода древостоем, как среднее изменение, достигают своего пика примерно к четвертому классу, заметно снижаясь в восьмом и последующих классах возраста.

В текущей погодно-климатической ситуации наибольший интерес представляет масса диоксида углерода, связываемого и выводимого из атмосферы непрерывно и повседневно. Применительно к роли леса в этом процессе речь идет о годичной абсорбции углекислого газа как разности между усвоением атмосферного CO₂ при фотосинтезе древостоя и эмиссией CO₂ при дыхании живых деревьев и минерализации древесного опада и опада. Возрастная динамика годичной абсорбции углекислого газа анализируемых сосновых древостоев представлена на рисунке.



Как видно, наибольшей интенсивностью «стока» CO₂ обладают сосновые древостои II–V классов возраста. В седьмом и старше классах возрастов сосновые древостои становятся источником «эмиссии» углекислого газа.

Как ранее отмечалось, многие исследователи обращают внимание на повышенную секвестрационную функцию старовозрастных лесов. Согласно данным [8, 9], секвестрация органического углерода в почве старовозрастных лесов может быть эквивалентна их годичной абсорбции порядка 2,24–4,77 т CO₂/га/год. Это важный аргумент в пользу сохранения старовозрастных лесов в качестве источников поглощения углекислого газа при учете баланса интересов древесинопользования и экологической функции лесов.

Для справедливости следует отметить, что секвестрация органического углерода в почве характерна для лесов всех возрастов. Наши исследования в зеленомошных приспевающих сосновых и еловых древостоях свидетельствуют о секвестрации до 0,68 т С-эквивалента, что соответствует годичной абсорбции до 2,49 т CO₂/га/год. Вопрос о секвестрации углерода лесами в почве

и лесной подстилке является актуальным и заслуживает большего внимания в целях исследования.

Закключение. Широкомасштабные работы по лесовосстановлению в первые послевоенные годы стали результатом текущего вступления в сферу главного пользования значительных объемов лесов. При действующих возрастах главной рубки расчетная лесосека может возрасти в два и более раза. Погодно-климатическая ситуация диктует необходимость сохранения достигнутого высокого уровня годичной абсорбции углекислого газа лесами Беларуси в связи с невысокими объемами заготовки древесины в условиях недостатка спелых и преобладания средневозрастных и приспевающих лесов. Увеличение объемов заготовки древесины значительно уменьшит поглощение углекислого газа лесами Беларуси. Отказ от главной рубки в пользу сохранения старовозрастных лесов нуждается в серьезном объективном доказательстве, к чему недостаточно подготовлена сегодня лесная наука и экономика.

Материалы данного исследования будут полезны при учете баланса интересов эколого-экономического лесопользования.

Список литературы

1. United nations climate chance conference. Cop. 24. Katowice, 2018, 3 p.
2. Филиппчук А. Н., Моисеев Б. Н., Медведева М. А., Кинигопуло П. С. Сравнительная характеристика лесов и ведения лесного хозяйства в разных странах // Лесохоз. информ. 2015. № 3. С. 56–69
3. Лесоуглеродный ресурс Беларуси / Л. Н. Рожков [и др.]; под общ. ред. Л. Н. Рожкова, И. В. Войтова, А. А. Кулика. Минск: БГТУ, 2018. 83 с.
4. Багинский В. В., Лапицкая О. В. Влияние возрастной структуры на поглощение лесами углекислого газа // Лесоуглеродный ресурс Беларуси / Л. Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ, 2018. С. 88–124.
5. Молодые леса лучше всего поглощают углекислый газ. URL: <https://ab-news.ru> (дата обращения: 01.03.2019).
6. Книга о лесе и лесоводстве. URL: www.dendrology.ru (дата обращения: 01.03.2019).
7. АГРО-XXI агропромышленный портал. URL: www.agroxxi.ru. (дата обращения: 01.03.2019).
8. Old Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils / Goyi Zhou [et al.] // Science. 2006. Vol. 314, No. 5804. P. 1417.
9. Старовозрастные леса как глобальной сток углерода / С. Луиссаар [и др.] // Устойчивое лесопользование. 2018. № 4 (68). С. 32–35.
10. Рожков Л. Н. Старовозрастные сосняки: как сохранить // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 41. Брянск: БГИТА, 2015. С. 71–76.
11. Рожков Л. Н. Старовозрастные сосняки Беловежской пуши: состояние, перспективы сохранения // Труды БГТУ. Серия 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 1. С. 14–17.
12. Методика оценки годичных потоков «стока-эмиссии» углекислого газа и общего депонирования углерода лесами Республики Беларусь: утв. и введ. в действие приказом М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 28.03.2011. № 81 / Л. Н. Рожков [и др.]. Минск: БГТУ, ЛРУП «Белгослес», 2011. С. 19.

References

1. United nations climate chance conference. Cop 24. Katowice, 2018. 3 p.
2. Filipchuk A. N., Moiseev B. N., Medvedeva M. A., Kinigopulo P. S. Comparative characteristics of forests and forestry in different countries. *Lesokhozyastvennaya informatsiya* [Forestry information], 2015, no. 3, pp. 56–69 (In Russian).

3. Rozhkov L. N. [et al.] *Lesouglerodnyy resurs Belarusi* [Forest carbon resource of Belarus]. Minsk, BSTU Publ., 2018. 247 p.
4. Baginsky V. V., Lapitskaya O. V. Influence of the age structure on the absorption of carbon dioxide by forests. *Lesouglerodnyy resurs Belarusi* [Forest carbon resource of Belarus]. Minsk, BSTU Publ., 2018, pp. 88–124 (In Russian).
5. *Molodye lesa luchshe vsego pogloshchayut uglekislyy gaz* [Young forests absorb carbon dioxide best]. Available at: <https://ab-news.ru> (accessed 03.01.2019).
6. *Kniga o lese i lesovodstve* [A book on forestry and forestry]. Available at: www.dendrology.ru (accessed 03.01.2019).
7. *AGRO-XXI agropromyshlennyy portal* [AGRO-XXI agricultural portal]. Available at: www.agroxxi.ru (accessed 03.01.2019).
8. Goyi Zhou, Schuguang Liu, Zhian Li [et al.]. Old Growth Forests Can Accumulate Carbon in Soils. *Science*, 2006, vol. 314, no. 5804, p. 1417.
9. Luissaa S., Schulz I., Berner A. [et al.]. Old-growth forests as a global carbon sink. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2018, no. 4 (68), pp. 32–35 (In Russian).
10. Rozhkov L. N. Old-aged pine trees: how to save. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], vol. 41. Bryansk, BGITA Publ., 2015. Pp. 71–76 (In Russian).
11. Rozhkov L. N. Old-aged pine forests of the Bialowieza Forest: state, conservation prospects. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2017, no. 1, pp. 14–17 (In Russian).
12. Rozhkov L. N. [et al.] *Metodika otsenki godichnykh potokov "stoka-emissii" uglekislogo gaza i obshchego deponirovaniya ugleroda lesami Respubliki Belarus'* [Methodology for assessing annual flows of carbon dioxide "sink-emission" and total carbon deposition by forests of the Republic of Belarus]. Minsk, BSTU Publ., LRUP Belgosles Publ., 2011. P. 19.

Информация об авторе

Рожков Леонид Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rozhkov@belstu.by

Information about the author

Rozhkov Leonid Nikolaevich – DSc (Agriculture), Professor, Professor of the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rozhkov@belstu.by

Поступила 24.01.2020