

БОТАНИКА / BOTANICS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.102>

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В
УРБАНИЗИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ Г. ТЮМЕНИ)

Научная статья

Ногин А.А.^{1,*}, Боме Н.А.², Семенова М.В.³

³ORCID : 0009-0009-3738-1920;

^{1,2,3}Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (rouch20123[at]gmail.com)

Аннотация

В статье приводятся результаты исследования древесных растений как инструмента поглощения углекислого газа. Были изучены 16 видов древесных растений, располагающихся вдоль центральных улиц и формирующих улично-дорожную сеть г. Тюмени. В ходе исследования были выявлены существенные различия по морфометрическим характеристикам (высота, диаметр ствола) и способностью к поглощению углерода. По комплексу признаков выявлены наиболее эффективные виды (*Acer negundo* и *Populus balsamifera*), которые могут быть рекомендованы для включения в ассортимент древесных растений, выращиваемых на улицах г. Тюмени в целях эффективного поглощения углерода. К наименее эффективным видам были отнесены *Picea pungens*, *Picea abies* и *Picea obovata*.

Ключевые слова: депонирование, углекислый газ, климат, парниковый эффект.

CARBON SEQUESTRATION BY DIFFERENT SPECIES OF WOODY PLANTS IN URBANIZED CONDITIONS
(ON THE EXAMPLE OF TYUMEN)

Research article

Nogin A.A.^{1,*}, Bome N.A.², Semenova M.V.³

³ORCID : 0009-0009-3738-1920;

^{1,2,3}Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation

* Corresponding author (rouch20123[at]gmail.com)

Abstract

The article presents the results of the study of woody plants as an instrument of carbon dioxide absorption. 16 species of woody plants located along the central streets and forming the street and road network of Tyumen were studied. The research identified significant differences in morphometric characteristics (height, trunk diameter) and ability to absorb carbon. The most effective species (*Acer negundo* and *Populus balsamifera*), which can be recommended for inclusion in the assortment of woody plants grown in the streets of Tyumen for effective carbon sequestration, were detected according to the complex of features. The least effective species were *Picea pungens*, *Picea abies* and *Picea obovata*.

Keywords: sequestration, carbon dioxide, climate, greenhouse effect.

Введение

Развитие промышленности и транспорта за последнее столетие сделало города основными поставщиками выбросов CO₂ в атмосферу [6, С. 52]. С началом индустриализации мирового хозяйства изменение климата стало одной из наиболее актуальных экологических проблем в современном мире. Основной причиной климатических изменений служат выбросы в атмосферу парниковых газов, таких как углекислый газ (CO₂), являющихся продуктами промышленных технологий. Большая часть углеродного следа приходится на основные отрасли экономики, к которым относят химическую промышленность, энергетику и металлургию [4, С. 19]. В последние годы особое внимание начинает уделяться углеродному следу, касающемуся продуктов питания. Он состоит не только из выбросов при производстве, но также и при транспортировке [1, С. 860].

Углекислый газ оказывает значительное влияние на атмосферу, поскольку обладает высокой способностью поглощать тепловое излучение, достигающее Земли, задерживая тепло в атмосфере, тем самым усиливая парниковый эффект.

Таким образом, повышение концентрации CO₂ в воздухе нарушает углеродный цикл, что в совокупности с увеличением парникового эффекта способно вызвать потепление климата [8, С. 14].

Одним из наиболее эффективных природных инструментов компенсации выбросов парниковых газов в атмосферу являются древесные растения [9, С. 125]. Они способны поглощать углерод из атмосферы путем фотосинтеза, превращая его в органическое вещество, которое может храниться в плодах, стволах, корнях, листьях древесных растений и почвах.

Цель исследования – изучение древесных растений как инструмента депонирования углерода в урбанизированной среде для разработки научно-обоснованного ассортимента видов наиболее эффективных для использования в озеленении (на примере г. Тюмени).

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в 2021-2022 годах в г. Тюмени на 16 видах древесных растений, принадлежавших к 8 семействам и 11 родам. Преобладающим семейством является *Pinaceae* (4 вида). Данные виды формируют улично-

дорожную сеть (УДС) города на улицах Первомайская, Республики, Орджоникидзе, Володарского, Елецкая, Сакко, Советская, Грибоедова, Челюскинцев, 25-го Октября, Водопроводная, Пристанская и Хохрякова.

Высота и диаметр ствола на уровне 1,3 м были определены с помощью мерной вилки и высотомера [7, С. 135].

При помощи полученных морфометрических данных был определен объем ствола с помощью метода срединного сечения, который основан на вычислении объема цилиндра [5, С. 3]:

$$V = \frac{d^2 h}{4},$$

где

π – 3,1405 – математическая постоянная;

d – диаметр ствола, см;

h – высота ствола, м.

На основании показателей плотности древесины различных видов древесных растений [3] была рассчитана сухая масса древесины по формуле:

$$mV = \rho V,$$

где

m – сухая масса ствола, кг;

V – объем ствола, м³;

ρ – сухая плотность древесины, кг/м³.

Затем было найдено содержание в стволах углерода, которое равняется 0,5 сухой массы ствола [10, С. 127], после чего произведен расчет количества углерода на экземпляр (кг/шт.) для каждого исследуемого вида древесных растений.

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли по апробированным методикам с использованием табличного процессора Microsoft Excel и программного обеспечения STATISTICA 6.0 («StatSoft, Inc.», США). Рассчитывали средние значения (M), стандартные ошибки средних ($\pm SEM$).

Результаты и их обсуждение

Изученные виды древесных растений существенно различались по морфометрическим характеристикам (см. табл. 1). Растения *Populus balsamifera* по сравнению с другими видами отличались наибольшими показателями высоты и диаметра ствола. Отмечено значительное варьирование признака в исследуемой выборке ($n=122$), что может быть связано с возрастом деревьев и условиями их произрастания. К высокорослым отнесены также растения *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Acer negundo* и *Picea pungens*.

По диаметру ствола (35 см) выделился также *Populus alba*, но данный вид был обнаружен только в одном экземпляре на ул. Пристанская.

В группе низкорослых видов *Malus baccata*, *Malus domestica*, *Picea obovata*, *Ulmus parvifolia*, среди которых наиболее многочисленной ($n=193$) была выборка *Ulmus parvifolia*, диаметр ствола составил 13,50-19,73 см.

Таблица 1 - Высота и диаметр ствола изученных видов древесных растений, г. Тюмень

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.102.1>

№ п/п	Вид растения	Количество экземпляров, шт.	Высота, м		Диаметр ствола, см	
			min-max	$M \pm SEM$	min-max	$M \pm SEM$
1	<i>Acer negundo</i>	820	1-27	7,85±0,34	3-75	17,01±0,34
2	<i>Betula pendula</i>	168	1,8-30	9,82±0,31	6-54	23,92±0,75
3	<i>Fraxinus excelsior</i>	29	3-10	7,70±0,44	12,5-30,5	20,02±1,39
4	<i>Larix sibirica</i>	4	10-15	12,25±1,03	21-26	23,25±1,11
5	<i>Malus baccata</i>	302	1-15	4,78±0,18	2,5-75	19,73±1,03
6	<i>Malus domestica</i>	2	4,5-5	4,75±0,25	4,5-23	13,75±9,25
7	<i>Picea abies</i>	5	3-12	6,40±1,63	10,5-16	13,50±1,14
8	<i>Picea obovata</i>	8	2-8	4,43±0,67	14-20,5	16,06±0,75
9	<i>Picea pungens</i>	34	1,5-23	7,00±0,97	6-25	16,24±0,81
10	<i>Populus alba</i>	1	9	9,00±0,00	35	35,00±0,00
11	<i>Populus</i>	122	2-25	12,06±0,38	6-80	44,53±1,67

№ п/п	Вид растения	Количество экземпляров	Высота, м		Диаметр ствола, см	
			min-max	M±SEM	min-max	M±SEM
	<i>balsamifera</i>					
12	<i>Prunus maackii</i>	2	4-11	7,50±3,5	7-29	18,00±11,00
13	<i>Salix fragilis</i>	2	8-11	9,50±1,5	20-21	20,50±0,50
14	<i>Tilia cordata</i>	401	1,1-30	6,48±0,23	2-75	17,89±0,88
15	<i>Ulmus glabra</i>	10	1,7-17	8,13±2,16	5-35	16,33±3,62
16	<i>Ulmus parvifolia</i>	193	1-18	5,43±0,23	2,5-80	15,58±0,88

Анализ данных по количеству поглощенного углерода на экземпляр (см. рис. 1) выявил существенное преимущество перед другими видами *Populus balsamifera* (454,43 кг/шт.), растения которого выдвигаются по высоте и диаметру ствола. Значительное преобладание количества углерода у данного вида может быть связано с частым проведением кронирования, то есть частичной обрезкой ветвей в целях оздоровления дерева и улучшения формы его кроны. Данная процедура способна увеличить запасы углерода за счет возобновления роста кроны [2, С. 2].

Высокой способностью к поглощению углерода также характеризовались растения следующих видов: *Acer negundo* (180,91 кг/шт.), *Populus alba* (155,00 кг/шт.) и *Betula pendula* (138,38 кг/шт.). Следует отметить, что наибольшее число деревьев проанализировано у вида *Acer negundo*, что указывает на большую распространенность вида на территории г. Тюмени. Исследованные экземпляры *Betula pendula* по высоте деревьев приближаются к высокорослой группе и имеют хорошие показатели диаметра ствола, произрастают на 11 улицах г. Тюмени из 13 обследованных.

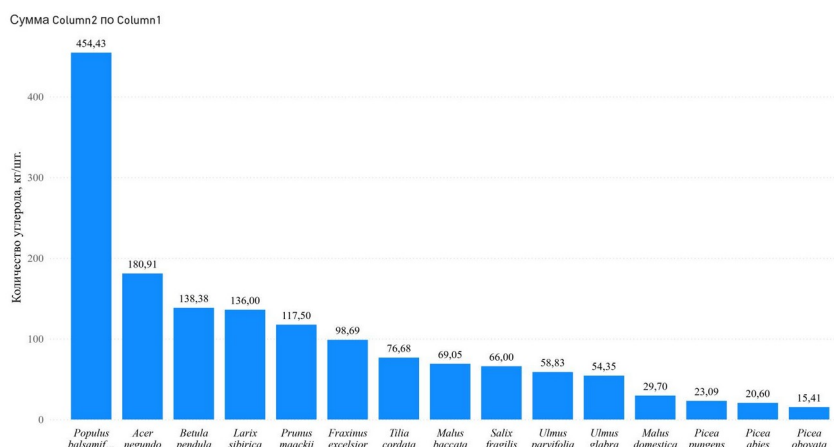


Рисунок 1 - Количество углерода, поглощенного различными видами древесных растений г. Тюмени

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.102.2>

Причину низких показателей количества поглощенного углерода у *Picea pungens* (23,09 кг/шт.), *Picea abies* (20,60 кг/шт.) и *Picea obovata* (15,41 кг/шт.) связываем с местом произрастания исследуемых экземпляров. Ель не рекомендуется использовать в насаждениях вдоль автодорог, так как эти места характеризуются высоким уровнем загазованности атмосферы и негативно влияют на длину и ширину хвои [9, С. 89].

Заключение

Таким образом, в целях эффективного поглощения углерода в г. Тюмени рекомендуется высаживать следующие виды:

1. *Populus balsamifera* – является быстрорастущим, устойчивым к морозам и городским условиям видом. Интенсивно поглощает и удерживает углерод. Относится к видам с максимальной пылефильтрующей способностью (5 г/м²). Рекомендуется высаживать мужские особи [3, С. 145–146].

2. *Acer negundo* – является быстрорастущим, устойчивым к морозам и городским условиям видом. Способен поглощать и накапливать свинец. Относится к видам со средней пылефильтрующей способностью (до 2 г/м²) [3, С. 36–38]. Использование допускается в лимитирующих условиях города (запечатанная корневая система, работы по

обрезке). При подобных ограничениях данный вид значительно меньше проявляет себя как инвазивный, а широкая крона положительно влияет на микроклимат.

Populus alba, несмотря на высокие показатели количества поглощенного углерода, рассматривался в одном экземпляре и не встречался на обследованных улицах, вследствие чего результатов недостаточно для рекомендации высаживания данного вида в г. Тюмени.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Lukić R. Carbon dioxide emissions in retail food / R. Lukić, S. Lalić, A. Sućeska [et al.] // *Ekonomika poljoprivrede [The Economics of Field Transport]*. — 2018. — №2. — P. 859–874.
2. Muscas D. Effects of urban tree pruning on ecosystem services performance / D. Muscas, F. Orlandi, R. Petrucci [et al.] // *Trees, Forests and People*. — 2024. — Vol. 15. — P. 1–9.
3. Атрохин В. Г. Древесные породы мира : справочник / В. Г. Атрохин, К. К. Калущкий, Ф. Т. Тюриков. — Москва : Лесная промышленность, 1982. — 264 с.
4. Белова С. Б. Углеродный след: проблемы и пути решения / С. Б. Белова, И. Ю. Старчикова, Е. С. Старчикова // *Наука и бизнес: пути развития*. — 2020. — № 3(105). — С. 19–21.
5. ГОСТ Р 52117-2003. Лесоматериалы круглые. Методы измерений : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25.12.2008 № 696-ст: дата введения 2009-07-01.
6. Ковалева Т. А. Оценка содержания запасов углерода в городских экосистемах (на примере Нижегородской агломерации) / Т. А. Ковалева, Н. И. Зазнобина, А. Д. Большакова // *Экология урбанизированных территорий*. — 2022. — № 3. — С. 52–56.
7. Муллаярова П. И. О модернизации существующей методики инвентаризации зеленых насаждений с учетом современных достижений аэрокосмических исследований и ГИС-технологий / П. И. Муллаярова // *Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий*. — 2018. — № 1. — С. 132–141.
8. Сабирзянов И. Г. Депонирование углерода растениями в Республике Башкортостан / И. Г. Сабирзянов, К. М. Габдрахимов, Л. Н. Блонская // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. — 2019. — № 3. — С. 14–19.
9. Соколова Г. Г. Влияние загрязнения атмосферы на состояние хвойных деревьев в Барнауле / Г. Г. Соколова, А. Ю. Тиньгаева // *Известия Алтайского государственного университета*. — 2006. — № 3. — С. 88–90.
10. Чураков Б. П. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны / Б. П. Чураков, Е. В. Манякина // *Ульяновский медико-биологический журнал*. — 2012. — № 1. — С. 125–129.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lukić R. Carbon dioxide emissions in retail food / R. Lukić, S. Lalić, A. Sućeska [et al.] // *Ekonomika poljoprivrede [The Economics of Field Transport]*. — 2018. — №2. — P. 859–874.
2. Muscas D. Effects of urban tree pruning on ecosystem services performance / D. Muscas, F. Orlandi, R. Petrucci [et al.] // *Trees, Forests and People*. — 2024. — Vol. 15. — P. 1–9.
3. Atrokhin V. G. Drevesnye porody mira [Tree species of the world] : a reference / V. G. Atrokhin, K. K. Kaluzky, F. T. Tyurikov. — Moscow : Forest Industry Publ., 1982. — 264 p. [in Russian]
4. Belova S. B. Uglerodnyj sled: problemy i puti reshenija [Carbon footprint: problems and solutions] / S. B. Belova, I. Y. Starchikova, E. S. Starchikova // *Nauka i biznes: puti razvitija [Science and Business: Ways of Development]*. — 2020. — № 3(105). — P. 19–21. [in Russian]
5. GOST R 52117-2003. Lesomaterialy kruglye. Metody izmerenij [The timber is round. Measurement methods] : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation in Metrology dated December 25, 2008 No. 696-st: date of introduction 2009-07-01. [in Russian]
6. Kovaleva T. A. Ocenka sodержaniya zapasov ugleroda v gorodskih jekosistemah (na primere Nizhegorodskoj aglomeracii) [Assessment of carbon reserves in urban ecosystems (on the example of the Nizhny Novgorod agglomeration)] / T. A. Kovaleva, N. I. Zaznobina, A. D. Bolshakova // *Jekologija urbanizirovannyh territorij [Ecology of Urbanized Territories]*. — 2022. — № 3. — P. 52–56. [in Russian]
7. Mullayarova P. I. O modernizacii sushhestvujushhej metodiki inventarizacii zelenyh nasazhdenij s uchedom sovremennyh dostizhenij ajerokosmicheskikh issledovanij i GIS-tehnologij [On the modernization of the existing methods of inventory of green spaces, taking into account modern achievements of aerospace research and GIS technologies] / P. I. Mullayarova // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tehnologij [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies]*. — 2018. — № 1. — P. 132–141. [in Russian]

8. Sabirzyanov I. G. Deponirovanie ugleroda rastenijami v Respublike Bashkortostan [Carbon deposition by plants in the Republic of Bashkortostan] / I. G. Sabirzyanov, K. M. Gabdrakhimov, L. N. Blonskaya // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University]. — 2019. — № 3. — P. 14–19. [in Russian]
9. Sokolova G. G. Vlijanie zagrjaznenija atmosfery na sostojanie hvojnyh derev'ev v Barnaule [The influence of atmospheric pollution on the condition of coniferous trees in Barnaul] / G. G. Sokolova, A. Yu. Tingaeva // Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of the Altai State University]. — 2006. — № 3. — P. 88–90. [in Russian]
10. Churakov B. P. Deponirovanie ugleroda raznovozrastnymi kul'turami sosny [Carbon deposition by pine crops of different ages] / B. P. Churakov, E. V. Manyakina // Ul'janovskij mediko-biologicheskij zhurnal [Ulyanovsk Medical and Biological Journal]. — 2012. — № 1. — P. 125–129. [in Russian]