

УДК 581.132

DOI: 10.24412/2072-8816-2025-19-3-16-20

ПОПУЛЯЦИОННО-ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ОТДЕЛЬНЫМИ ВИДАМИ РАСТЕНИЙ

© 2025 А.Ю. Асташенков^{1,2,*}, Е.Б. Таловская^{1,2,**}

¹Новосибирский государственный университет

ул. Пирогова, 1, г. Новосибирск, 630090, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

ул. Золотодолинская, 101, г. Новосибирск, 630090, Россия

*e-mail: astal@bk.ru

**e-mail: kolegova_e@mail.ru

Аннотация. В статье оценено количество депонированного углерода надземной фотосинтезирующей поверхностью у особей *Pulmonaria mollis* разного онтогенетического состояния. Максимальные показатели выявлены у особей зрелого генеративного состояния. Рассчитано общее количество депонированного углерода растениями в ценопопуляции.

Ключевые слова: *Pulmonaria mollis*, фотосинтез, онтогенетическое состояние, депонирование углерода.

Поступило в редакцию: 29.07.2025. **Принято к публикации:** 30.08.2025.

Для цитирования: Асташенков А.Ю., Таловская Е.Б. 2025. Популяционно-онтогенетический подход при изучении депонирования углерода отдельными видами растений. — Фиторазнообразие Восточной Европы. 19(3): 16–20. DOI: 10.24412/2072-8816-2025-19-3-16-20

ВВЕДЕНИЕ

В современное время проводится много экспериментальных работ, которые посвящены оценке лесных биомов в регулировании углеродного баланса атмосферы Земли. Работы по количественной оценке способности растений поглощать углерод в процессе фотосинтеза в первую очередь были сосредоточены на деревьях (Carbon..., 1994; Osipov, Bobkova, 2011). Однако в ряде работ отмечен недостаток экспериментальных данных, описывающих круговорот углерода нижних ярусов лесных сообществ, которые включают в себя травы и кустарники (Osipov, Bobkova, 2011, Nam et al, 2024). Важную роль в регулировании потоков атмосферных газов играют березовые леса (Rodin, Bazilevich, 1965). В Западной Сибири березовые леса относятся к категории гемибореальных лесов и характеризуются доминированием мелколиственных и светлохвойных деревьев, с хорошо развитым ярусом травостоя (50–70 см высоты), практически полным отсутствием мохового покрова (Ермаков, 2003). Применение популяционно-онтогенетического подхода при изучении видов растений имеет важное значение в оценке углеродного баланса лесных сообществ, поскольку позволяет определить роль растений разных жизненных форм и онтогенетических состояний.

Цель работы – выявление количества депонированного углерода общей фотосинтезирующей поверхностью в процессе фотосинтеза *Pulmonaria mollis* J.F.Wolff ex Hornem. в березовом лесу у особей разного онтогенетического состояния. По своим биологическим особенностям *P. mollis* – травянистый многолетник, развивающийся по симподиальной полурозеточной модели побегообразования, гемикриптофит, с длительновегетирующим феноритмотипом. В подземной части растения формируется многолетнее короткое корневище. Нами установлено, что в березовых лесах Западной Сибири вегетация *P. mollis* начинается с начала мая и продолжается до первых заморозков осенью (Astashenkov A.A., Talovskaya). В связи с этим *P. mollis* один из первых в весеннем периоде участвует в депонировании углерода, которое продолжается длительный период, дольше чем у остальных видов лесного сообщества. Под снег растение уходит с зелеными листьями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в березовом лесу на берегу Новосибирского водохранилища (Новосибирск, Россия). Территория занимает вторую и третью надпойменные террасы реки Обь, сложенные древними аллювиальными песчаными и супесчаными отложениями. Поверхность равнинная, изрезанная оврагами и балками и пересекается рекой Зырянка. Климат резко континентальный, характеризуется значительными колебаниями сезонных и суточных температур. Безморозный период не более 150 дней, годовая амплитуда температур достигает 90°C при абсолютном минимуме -52°C и летнем максимуме +38°C. Снежный покров в среднем составляет 40 см, устанавливается в середине ноября и сходит в первой декаде апреля. Годовое количество осадков – около 400 мм, уровень прямой солнечной радиации достигает 42–48 ккал/см² в год, почвы преимущественно серые лесные (Banaev, 2014; Korolyuk, Lashchinskiy, 2014).

Основной лесообразователем выступает *Betula pendula*, формирующая светлые леса с хорошо развитым сомкнутым многовидовым травяным ярусом. В древостое также есть *Betula pubescens*, *Populus tremula*. Сомкнутость древостоя в среднем составляет 0.6 при высоте 20–24 м. Кустарниковый ярус негустой, его сомкнутость не превышает 10%. Травостой пышный, напочвенный мохово-лишайниковый покров отсутствует. Видовое богатство составляет 35–50 видов сосудистых растений на 100 м². Среди кустарников встречается *Acer negundo* L. – 3%, *Berberis vulgaris* L. – 5%. В травостое доминируют *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn – 40%, *Aegopodium podagraria* L. – 15%, *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. – 10%; проективное покрытие исследуемого вида составляет 8%.

Для выделения онтогенетических состояний использовались качественные и количественные признаки особей, описанных для этого вида ранее О.В. Смирновой (Smirnova, 1987). Исследование проводили в последнюю декаду июля в полуденное время при освещенности 189х100 Лм. В ценопопуляции была рассчитана экологическая плотность особей всех онтогенетических состояний (кроме проростков и сенильных растений) на 1 м². Сбор данных по накоплению углерода фотосинтезирующей поверхностью осуществляли для каждой онтогенетической группы отдельно. Были исследованы не менее пяти особей каждого онтогенетического состояния. Для каждой особи конкретного состояния было подсчитано общее число листьев и площадь каждого листа, затем полученные результаты усредняли (средняя площадь листовой поверхности ($S_{л.п.}$)). Рассчитанные показатели экстраполировали на плотность особей конкретного состояния в ценопопуляции. Поглощение CO₂ растением измеряли с использованием портативной системы измерения газообмена растений (модель LI-6800, LI-COR, США). Депонирование углерода в процессе фотосинтеза оценивали как разницу между поглощенным и высвобожденным углекислым газом (Δ CO₂ кг) за единицу времени (сутки) ($C \cdot 10^{-100}$).

Статистический анализ выполнен с использованием Statistica 10. Рассчитаны средняя арифметическая (M) и ошибка (m). Проведенный анализ показал, что значения площади фотосинтезирующей поверхности листьев имеет нормальное распределение, поэтому для выявления связи между количеством депонированного углерода и онтогенетическим состоянием особей применен корреляционный анализ и рассчитан коэффициент корреляции Пирсона (r). (Zajcev, 1984).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование показало, что наибольшая площадь листовой поверхности характерна для особей генеративного периода (молодое, зрелое и старое генеративное состояние), максимум отмечается у зрелых особей ($S_{л.п.} = 294.0$ см²; $M=308.2$, $m\pm 22.1$) (рис. 1а). У растений молодого и старого генеративного состояний площадь листовой поверхности меньше: 177.3 ($M=166.9$, $m\pm 19.4$) и 151.1 ($M=147.6$, $m\pm 14.6$) см² соответственно. У растений прегенеративного периода площадь листовой поверхности увеличивается от ювенильного к виргинильному состоянию: от 4.2 ($M=3.3$, $m\pm 1.6$) до 123.3 ($M=113.2$, $m\pm 8.8$) см². У субсенильных особей этот показатель составляет 32.4 ($M=26.3$, $m\pm 8.6$) см².

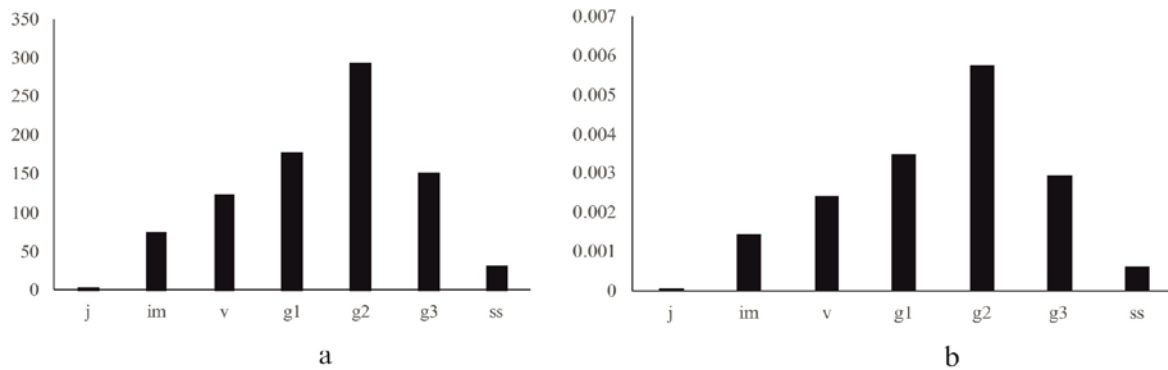


Рис. 1. Изменение фотосинтезирующей поверхности и депонирование углерода *Pulmonaria mollis* разными онтогенетическими состояниями

а – Общая фотосинтезирующая поверхность особей разных онтогенетических состояний: по оси абсцисс онтогенетические состояния, по оси ординат: площадь фотосинтезирующей поверхности (см²).

б – Общее количество углерода в надземной части у особей разного онтогенетического состояния: по оси абсцисс онтогенетические состояния, по оси ординат: количество углерода (кг/сут)

Fig. 1. Changes of photosynthetic surface and carbon deposition in *Pulmonaria mollis* of different ontogenetic states

а – General of photosynthetic surface by individuals of different ontogenetic states:

on the abscissa axis: ontogenetic states, on the ordinate axis: photosynthetic surface (cm²).

б – Total of carbon content in photosynthetic part of different ontogenetic states: on the abscissa axis ontogenetic states, on the ordinate axis amount of carbon (kg/day)

Выявлена положительная корреляционная связь между фотосинтезирующей поверхностью и онтогенетическим состоянием особей ($r = 0.936$; $p < 0.05$). Кроме того, установлена положительная корреляция между общей фотосинтезирующей поверхностью особей и количеством депонированного углерода в процессе фотосинтеза ($r = 0.891$; $p < 0.05$). При этом накопление углерода в процессе фотосинтеза больше у особей генеративного периода (рис. 1б). В изученной ценопопуляции экологическая плотность этой группы составила 4.6 особей/м². Накопление углерода особями прегенеративного и постгенеративного периода ниже. Экологическая плотность особей этих состояний в ценопопуляции составляет: ювенильных – 1.5 особей/м²; иматурных – 0.9 особей/м²; виргинильных – 1.8 особей/м²; субсенильных – 1.1 особей/м². В целом изученная ценопопуляция *P. mollis* способна ежедневно депонировать до 0.06 кг/сут на 1 м² углерода.

P. mollis в березовых лесах Западной Сибири может формировать различные типы ценопопуляций с многообразными вариантами онтогенетических спектров, в которых преобладают особи разных онтогенетических состояний. Понимание популяционной организации этого вида в конкретных местообитаниях позволяет оценить вклад *P. mollis* в газообмен и депонирование углерода в процессе фотосинтеза и динамику этих процессов в результате естественных или антропогенных нарушений.

Таким образом, популяционно-онтогенетический подход можно использовать для оценки углеродного баланса природных экосистем. В настоящее время существуют отдельные работы, в которых отражена возможность использования этого подхода для оценки и моделирования круговорота биогенных элементов. Так, на основе дискретного описания онтогенеза разработаны модели круговорота углерода и азота в популяциях некоторых кустарничков (Komarov et. al, 2015). Наши исследования показали, что онтогенетический состав и плотность *P. mollis* влияет на накопление углерода в надземной фотосинтезирующей поверхности растений, что расширяет общие представления об особенностях функционирования систем на разных уровнях организации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта государственного задания № FSUS-2024-0024, а также в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН № АААА–А21–121011290026–9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [Astashenkov, Talovskaya] Асташенков А.А., Таловская Е.Б. 2024. Депонирование углерода разными онтобиоморфами *Pulmonaria mollis* J.F. Wolff ex Hornem. в березовых лесах Западной Сибири. — В кн.: Материалы XI Всероссийской конференции с международным участием по экологической морфологии растений, посвященная памяти И.Г. и Т.И. Серебряковых. Москва. С. 16–17.
- [Banaev] Банаев Е.В. 2014. Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. — В кн.: Растительность. Новосибирск. С. 7–14.
- [Carbon...] Углерод в экосистемах лесов и болот России. 1994. Красноярск. 170 с.
- [Ermaikov] Ермаков Н.Б. 2003. Разнообразие бореальной растительности Северной Азии. Гемибореальные леса. Классификация и ординация. Новосибирск. 232 с.
- [Komarov et al.] Комаров А.С., Зубкова Е.В., Фролов П.В., Быховцев С.С. Моделирование круговорота углерода и азота в популяциях кустарничков — В кн.: Материалы VI Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием «Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения». Сыктывкар. С. 98–99.
- [Korolyuk, Lashchinskij] Королюк А.Ю., Лашинский Н.Н. 2014. Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. — В кн.: Растительность. Новосибирск. С. 438–465.
- [Osipov, Bobkova] Осипов А.Ф., Бобкова К.С. 2011. Запасы и продукция углерода в среднетаежных сосняках чернично-сфагновых. — Вестник Института Биологии Коми Научного Центра Уральского Отделения РАН. 9: 2–4.
- [Rodin, Bazilevich] Родин Л.Е., Базилевич Н.И. 1965. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности Земного шара. М.; Л. 253 с.
- [Smirnova] Смирнова О.В. 1987. Структура травяного покрова широколиственных лесов. М. 206 с.
- [Zaytsev] Зайцев Г.Н. 1984. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. 424 с.
- Nam, B.E., Kim, J.M., Lee, S. et al. 2024. Estimation on Individual-Level Carbon Sequestration Capacity of Understory Perennial Herbs. — J. Plant Biol. 67: 209–220.

POPULATION-ONTOGENETIC APPROACH TO STUDYING CARBON STORAGE BY
INDIVIDUAL PLANT SPECIES

© 2025 A.Yu. Astashenkov^{1,2*}, E.B. Talovskaya^{1,2,**}

¹Novosibirsk State University

1, Pirogova Str., Novosibirsk, 630090, Russia

²Central Siberian Botanical Garden SB RAS

101, Zolotodolinskay Str., Novosibirsk, 630090, Russia

*e-mail: astal@bk.ru

**e-mail: kolegova_e@mail.ru

Abstract. The article presents the deposition of tumor during photosynthesis in *Pulmonaria mollis* individuals of different ontogenetic states. It has been established that the maximum indicators of photosynthetic biomass and the level of accumulation of the world process in a special mature generative state. The total amount of carbon accumulated by individuals of different ontogenetic states per unit area is calculated.

Keywords: *Pulmonaria mollis*, biomass, photosynthesis, carbon deposition.

Received: 29.07.2025. **Accepted for publication:** 30.08.2025.

For citation: Astashenkov A.Yu., Talovskaya E.B. 2025. Population-ontogenetic approach to studying carbon in individual plant species. — Phytodiversity of Eastern Europe. 19(3): 16–20. DOI: 10.24412/2072-8816-2025-19-3-16-20

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the draft state assignment No. FSUS-2024-0024, as well as within the framework of the state assignment of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS No. AAAAA-A21-121011290026-9.

REFERENCES

- Astashenkov A.A., Talovskaya Ye.B. 2024. Deponirovaniye ugleroda raznymi ontobiomorfami *Pulmonaria mollis* J.F. Wolff ex Hornem. v berezovyh lesah Zapadnoy Sibiri. [Carbon sequestration by different ontobiomorphs of *Pulmonaria mollis* J.F. Wolff ex Hornem. in birch forests of Western Siberia]. — In: Materialy XI Vserossiyskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem po ekologicheskoy morfologii rasteniy, posvyashchennaya pamyati I.G. i T.I. Serebryakovyh. Moskva. P. 16–17. (In Russ.).
- Banaev E.V. 2014. Rastitel'noe mnogoobrazie Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN [Plant diversity of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS]. — In: Rastitel'nost'. Novosibirsk. P. 7–14. (In Russ.).
- Ermakov N.B. 2003. Raznoobrazie boreal'noy rastitel'nosti Severnoy Azii. Gemiboreal'nye lesa. Klassifikatsiya i ordinatsiya [Diversity of boreal vegetation of Northern Asia. Hemiboreal forests. Classification and ordination]. Novosibirsk. 232 p. (In Russ.).
- Komarov A.S., Zubkova E.V., Frolov P.V., Bykhovets S.S. Modelirovanie krugovorota ugleroda i azota v populyatsiyakh kustarnichkov [Modeling of carbon and nitrogen cycles in shrub populations]. — In: Materialy VI Vserossiyskoy nauchnoy konferencii po lesnomu pochvovedeniyu s mezhdunarodnym uchastiem «Fundamental'nye i prikladnye voprosy lesnogo pochvovedeniya». Syktyvkar. P. 98–99. (In Russ.).
- Korolyuk A.Yu., Lashchinskiy N.N. 2014. Rastitel'noe mnogoobrazie Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN [Plant diversity of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS]. — In: Rastitel'nost'. Novosibirsk. P. 438–465. (In Russ.).
- Nam, B.E., Kim, J.M., Lee, S. et al. 2024. Estimation on Individual-Level Carbon Sequestration Capacity of Understory Perennial Herbs. — J. Plant Biol. 67: 209–220.
- Osipov A.F., Bobkova K.S. 2011. Zapasy i produktsiya ugleroda v srednetazhnykh sosnyakh chernichno-sfagnovykh [Carbon reserves and production in middle taiga bilberry-sphagnum pine forests]. — Vestnik Instituta Biologii Komi Nauchnogo Centra Ural'skogo Otdeleniya RAN. 9: 2–4. (In Russ.).
- Rodin L.Ye., Bazilevich N.I. 1965. Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskoy krugovorot zol'nykh elementov i azota v osnovnykh tipakh rastitel'nosti Zemnogo shara [Dynamics of organic matter and biological circulation of ash elements and nitrogen in the main types of vegetation of the globe]. Moscow-Leningrad. 250 p. (In Russ.).
- Smirnova O.V. 1987. Struktura travyanogo pokrova shirokolistvennykh lesov [Structure of the grass cover of broad-leaved forests]. Moscow. 206 p. (In Russ.).
- Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii [Carbon in forest and wetland ecosystems of Russia]. 1994. Krasnoyarsk. 170 p. (In Russ.).
- Zaytsev G.N. 1984. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow. 424 p. (In Russ.).