

ЗАПАСЫ И ФИКСАЦИЯ УГЛЕРОДА ЧЕРНИКИ ОБЫКНОВЕННОЙ *VACCINIUM MYRTILLUS* L. (ERICACEAE) В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКАХ

В.В. Тужилкина

ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук»
(ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Россия, 167982. г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

tuzhilkina@ib.komisc.ru

Представлены материалы исследований по определению надземной массы и запасов углерода черники (*Vaccinium myrtillus* L.) в коренных еловых лесах подзоны средней тайги Республики Коми. Показано, что надземная фитомасса черники в чернично-сфагновом и черничном сообществах составляет 21,0 и 30,6 г/м², в том числе углерода 10,3 и 15,0 г/м² соответственно. Установлено, что в исследуемых ельниках черничных на долю черники приходится 50 и 58 % общей надземной фитомассы растений травяно-кустарничкового яруса. Рассмотрены также некоторые экологические аспекты фотосинтетической фиксации диоксида углерода листьями *V. myrtillus* в ельнике чернично-сфагновом. Установлено, что летом в течение дневного периода суток интенсивность фотосинтеза в большой степени зависит от фотосинтетически активной солнечной радиации. Отмечается положительная связь фотосинтеза листьев с температурой воздуха в течение дня. Установлена отрицательная корреляция между скоростью поглощения диоксида углерода и относительной влажностью воздуха. Выявлены диапазоны оптимальных параметров среды (фотосинтетически активной солнечной радиации) и температуры воздуха, в пределах которых проявляются наивысшие в летний период значения фотосинтетической активности растения. Полученные данные можно использовать для прогнозных моделей динамики органического вещества и углерода в таежных экосистемах при изменении климата и других внешних воздействиях на лесные сообщества.

Ключевые слова: *Vaccinium myrtillus*, фитомасса, углерод, фотосинтез, ельники, средняя тайга

Ссылка для цитирования: Тужилкина В.В. Запасы и фиксация углерода черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae) в среднетаежных ельниках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 6. С. 28–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-28-36

К настоящему времени зафиксировано увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере и, возможно, связанное с ним потепление климата. Поэтому получение новых и уточнение известных компонентов регионального и глобального циклов углерода составляет актуальную исследовательскую задачу.

Одним из наиболее важных компонентов биосферы, участвующим в круговороте углерода, является лес [1]. Существенное значение для регулирования углеродного баланса атмосферы имеют бореальные леса [2–5]. На территории Республики Коми сохранились коренные еловые леса, которые признаны неотъемлемым компонентом природных экосистем. Это источник лесозаготовок и эталон биосистем, функционирующий в состоянии динамического равновесия [6], одновременно несущий средообразующую функцию.

В регулировании содержания углерода в лесных экосистемах принимают участие все компоненты фитоценоза, что необходимо учитывать [7–9]. В накоплении органического вещества и углеродном цикле лесных экосистем в целом максимально задействованы растения напочвенного

покрова, которые также служат крупными индикаторами условий местообитания. Однако изучению участия растений напочвенного покрова в биологическом круговороте углерода лесных экосистем не уделяется должное внимание [8]. Вклад растений травяно-кустарничкового яруса в общий круговорот углерода в сосновых и еловых лесах может достигать 45...50 % [10–12]. В свою очередь, одно из первых мест среди растительности нижнего яруса занимают широко распространенные в бореальных лесах кустарнички рода *Vaccinium*, в том числе черника (*V. myrtillus*), относимая к основным ресурсным видам. Черника широко используется, в частности в лечебных целях, в побочном лесопользовании, фармацевтической промышленности, а также активно участвует в биогеохимическом круговороте элементов [13], выполняет восстановительную функцию после негативного антропогенного воздействия на лесные экосистемы [12]. Черника *V. myrtillus* — один из доминантов среднетаежных еловых лесов. Данные по количественной и функциональной характеристике черники лесных сообществ таежной зоны немногочисленны и противоречивы [12, 14–16]. Исследования запасов органического вещества и углерода в ассимилирующих их

органах и экологических основ фиксации углерода растением следует проводить как для понимания ресурсного потенциала лесной растительности, так и для моделирования круговорота углерода в таежных экосистемах, поскольку для лесной экологии и лесоведения такое направление работ имеет первостепенное значение.

Цель работы

Цель работы — определение надземной фитомассы, органического углерода, оценка влияния экологических факторов на фотосинтетическую фиксацию диоксида углерода черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в среднетаежных ельниках черничных Республики Коми.

Объекты и методы

Исследования проводили на территории Ляльского (62°17' с. ш. и 50°40' в. д.) лесоэкологического стационара ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, расположенного в подзоне средней тайги таежной зоны. Стационар расположен на границе прохладного и умеренно-прохладного климатических районов [17]. Объекты изучения — сообщества коренных ельников черничного и чернично-сфагнового типов.

Ельник черничный расположен на очень пологом юго-восточном склоне увалов и холмов, произрастает на типичной подзолистой почве на суглинках [18]. Древостой ельника сформирован елью сибирской (*Picea obovata*) и пихтой сибирской (*Abies sibirica* Ledeb); редко встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Травяно-кустарничковый ярус имеет синузильное строение, его образуют 16 видов растений, среди которых доминируют такие виды, как черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), линнея северная (*Linnea borealis* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), майник двулистный (*Majanthemum bifolium* L.), костяника обыкновенная (*Rubus saxatilis* L.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.). Проективное покрытие яруса варьирует от 50 до 60 %. Моховой покров почти сплошной, образован *Hylocomium splendens* (Hedw) Br, Sch et Gmb), *Pleurozium schreberi* (Brid) Mitt, встречаются также *Dicranum polyzetum* (Mich.) Sw, *Polytrichum commune* Hedw и *Sphagnum* sp.

Ельник чернично-сфагновый располагается на довольно ровной площади, произрастает на торфянисто-подзолисто-глеватой супесчаной почве, подстилаемой суглинками [6]. В весенне-летнее время почва почти постоянно находится в переувлажненном состоянии. Древесный ярус состоит из ели сибирской (*P. obovata*), березы

пушистой (*B. pubescens*), сосны обыкновенной (*P. sylvestris*). В составе фитоценоза имеется примесь пихты сибирской (*A. sibirica*). Травяно-кустарничковый покров с проективным покрытием 60...70 % представлен 20 видами, доминируют хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum*), осока шаровидная (*Carex globularis*), черника (*V. myrtillus*), брусника (*V. vitis-idaea*), линнея северная (*Linnea borealis*), майник двулистный (*Majanthemum bifolium*), седмичник европейский (*Trientalis europaea*), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella*), костяника (*Rubus acticus*). Моховой ярус имеет проективное покрытие 80...90 %, образован *Sphagnum* sp., *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum polyzetum*, встречается *Polytrichum commune*.

В еловых сообществах в ценотическом и ресурсном отношении выделяют кустарнички рода *Vaccinium* (*V. myrtillus* и *V. vitis-idea*) [19].

Для определения надземной массы черники обыкновенной (*V. myrtillus*) закладывались учетные площадки (повторность 40-кратная) размером 500 см². Зеленая часть растения срезалась, разбиралась, высушивалась и взвешивалась. Пересчет органического вещества фитомассы кустарничка на углерод осуществляли с помощью переводного коэффициента, полученного нами ранее методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе ANA-1500 фирмы Carbo Erba (Италия). Концентрация углерода в листьях *V. myrtillus* составляла 49,1 % абсолютно сухого вещества [20].

Эксперименты по изучению фотосинтеза *V. myrtillus* проводились в июне и июле в ельнике чернично-сфагновом в светлое время суток. Фотосинтетический газообмен листьев измеряли на интактных побегах с помощью газоанализатора Li Cor-6400 (Li Cor, США), с одновременной регистрацией параметров среды. Оптимальными диапазонами фотосинтеза считали область факторов среды, в которой скорость ассимиляции диоксида углерода достигала более 80 % своего максимального значения [21].

Статистическую обработку полученных данных проводили на персональном компьютере с использованием пакета программ Microsoft EXCEL-2010 (лицензия ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). В табл. 1 указаны среднеарифметические значения и их ошибки от среднего значения.

Результаты и обсуждение

Фитомасса. Растения травяно-кустарничкового яруса, в частности *V. myrtillus*, в лесных сообществах вносят определенный вклад в накопление органической массы. По различным оценкам общая биомасса всех органов черники варьирует в широком диапазоне (от 8 до 576 г/м²),

Т а б л и ц а 1

Запасы фитомассы и углерода в растениях нижних ярусов еловых лесов

The phytomass and carbon sequestration in the lower layer plants of spruce forests

Жизненная форма, вид	Тип леса			
	Черничный		Чернично-сфагновый	
	фитомасса, г/м ²	содержание углерода, г/м ²	фитомасса, г/м ²	содержание углерода, г/м ²
Кустарнички	43,6 ± 1,8	21,9 ± 0,9	28,2 ± 1,2	14,1 ± 0,4
черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	30,6 ± 1,1	15,0 ± 0,8	21,0 ± 1,2	10,3 ± 0,6
брусника (<i>Vaccinium vitis idaea</i>)	13,0 ± 0,9	6,9 ± 0,5	7,2 ± 0,7	3,8 ± 0,3
Травы	9,0 ± 0,6	3,8 ± 0,2	13,3 ± 0,9	5,7 ± 0,5
Мхи	100 ± 0,2	44,1 ± 4,3	15,0 ± 12,9	66,1 ± 5,2
Итого:	152,6 ± 13,5	69,8 ± 5,3	191,5 ± 14,2	85,9 ± 6,0

в зависимости от условий местообитания [16, 22]. Согласно модели, разработанной П.В. Фроловым [12] для кустарничкового яруса сосняков южного Подмосковья, средняя биомасса *V. myrtillus* при стационарных условиях составляет 0,047 кг/м².

Надземная масса кустарничков в изучаемых черничных типах еловых сообществ составляет 21,0...30,6 г/м² (см. табл. 1). Близкие данные получены ранее [10, 14, 23, 24] для среднетаежных спелых ельников. На долю *V. myrtillus* приходится 58 % в ельнике черничном и 50 % в чернично-сфагновом еловом фитоценозе относительно общей надземной массы растений травяно-кустарничкового яруса, которая составляет 52,6 и 41,5 г/м² соответственно. Фитомасса трав и кустарничков в еловых лесах невысокая, поскольку активно проявляется средообразующая функция эдификатора ели [25, 26]. Кроме того на видовом составе, структуре и продуктивности напочвенного покрова сказываются водно-воздушный и питательный режимы почв. Ограничивающее влияние на развитие трав и кустарничков в ельниках оказывают повышенная кислотность и водный режим почв [10]. Такие обстоятельства формируют благоприятные условия для развития мхов.

В структуре биомассы живого напочвенного покрова еловых лесов приоритет остается за растениями мохового яруса, которые по накоплению органического вещества и углерода превосходят растения травяно-кустарничкового яруса. В исследованных фитоценозах масса мхов существенно превышает массу трав и кустарничков (см. табл. 1). В ельнике черничном они составляют 65,5, а на болотно-подзолистой почве в ельнике чернично-сфагновом — 78,3 % общей надземной массы напочвенного покрова.

Углерод фитомассы. Для оценки продукционных процессов растений и баланса углерода в лесных экосистемах необходимы данные по содержанию углерода в различных органах рас-

тений и фракциях фитомассы. Известно, что количество углерода, поглощенное растением, пропорционально количеству массы, продуцируемой им. Согласно нашим данным [20], концентрация органического углерода в листьях черники составляет 49,1, брусники — 53,4, мхах — 44,8 % абсолютно сухой массы. Основную массу углерода аккумулируют растения яруса мхов. Запасы органического углерода надземной фитомассы травяно-кустарничкового яруса составляет 25,7 в ельнике черничном и 19,8 г/м² в чернично-сфагновом. В ельнике черничном на долю черники приходится 58,4, брусники — 26,8, на травянистые растения — 14,8 % количества углерода растений травяно-кустарничкового яруса. В ельнике чернично-сфагновом накапливаемая фитомассой растений доля органического углерода составляет: черника — 52,0, брусника — 19,2, травы — 28,8 % запаса углерода яруса кустарничков и трав. Вклад *V. myrtillus* в образование углерода надземной массой неодинаков. Запасы органического углерода черники в чернично-сфагновом сообществе в 1,5 раза ниже, чем в черничном.

Фотосинтетическая фиксация диоксида углерода. Одним из важнейших компонентов биогенного цикла углерода является фотосинтетическая фиксация диоксида углерода растениями. В связи с этим нами проведено исследование фотосинтетической активности *V. myrtillus* — составляющей углеродного цикла растения. Фотосинтетический газообмен ассимиляционного аппарата измеряли летом в чернично-сфагновом ельнике в течение двух лет, а также наблюдали дневную динамику поглощения диоксида углерода в летний период (конец июня начале июля).

Скорость поглощения диоксида углерода листьями черники в течение дня изменялась от 0,90 до 5,11 мкмоль/м²·с в зависимости от факторов внешней среды. Среднедневная величина интенсивности видимого фотосинтеза изменяется в пределах 1,75...1,86 мкмоль/м²·с (2,76...3,57 мг/дм²·ч).

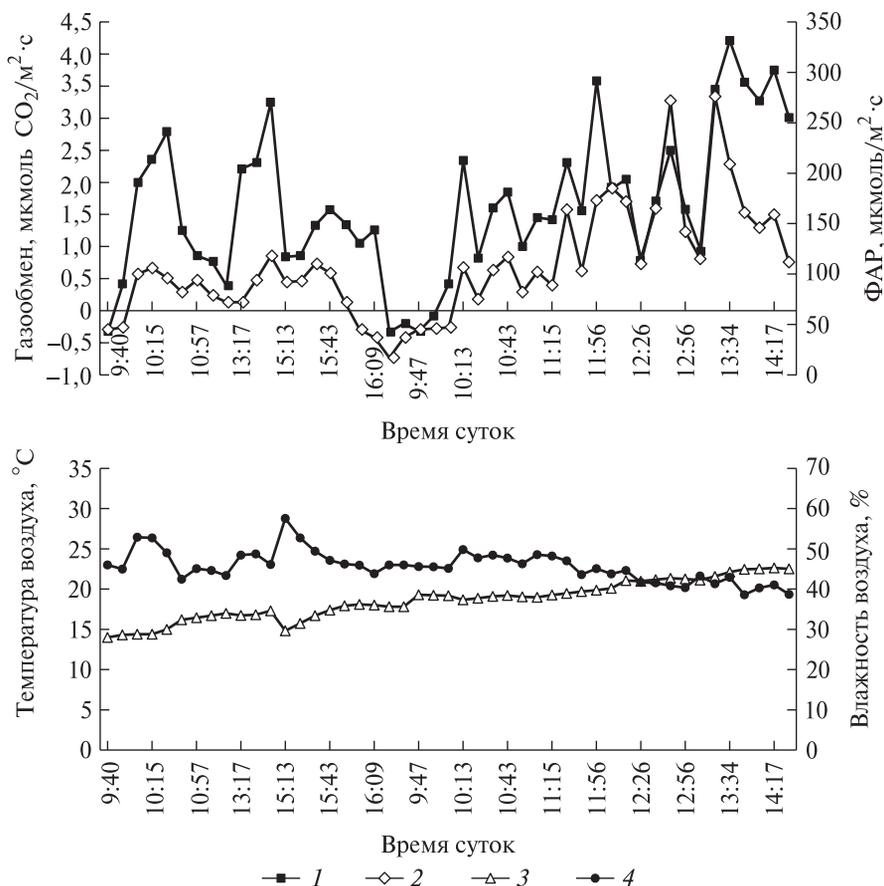


Рис. 1. Дневные изменения фотосинтетического газообмена (1) *Vaccinium myrtillus*, фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) (2), температуры (3) и влажности воздуха (4) в ельнике чернично-сфагновом от 25.07. — 26.07.2006 г.
Fig. 1. Daily changes in CO₂ — gas exchange (1) of *Vaccinium myrtillus*, PAR (2), temperature (3), air humidity (4) in blueberry-sphagnum spruce forest at 25.07. — 26.07. 2006

Т а б л и ц а 2

Связь интенсивности фотосинтеза *Vaccinium myrtillus* с экологическими факторами
Relationship between photosynthesis intensity of *Vaccinium myrtillus* and environmental factors

Показатель	25–26 июня 2006 г.			4 июля 2007 г.		
	Освещенность (ФАР), мкмоль/м ² ·с	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Освещенность (ФАР), мкмоль/м ² ·с	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %
Коэффициент уравнения регрессии <i>a</i>	0,01	0,04	-0,07	0,01	0,03	0,06
<i>b</i>	0,39	1,01	5,15	1,00	1,36	5,13
Коэффициент корреляции, <i>r</i>	0,66*	0,47*	-0,29	0,80*	0,15	-0,54*
Достоверность коэффициента корреляции, <i>t</i>	7,4	3,9	2,1	10,7	0,75	5,71

*Достоверно при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Для выявления особенностей ассимиляционной деятельности черники, произрастающей в лесных сообществах, служат дневные и суточные изменения фотосинтеза (рис. 1, 2) [27]. Степень влияния отдельных факторов среды на процесс

усвоения диоксида углерода проявляется по-разному. Связь между скоростью его поглощения и интенсивностью фотосинтетически активной солнечной радиацией (ФАР) характеризуется довольно высоким коэффициентом корреляции (табл. 2).

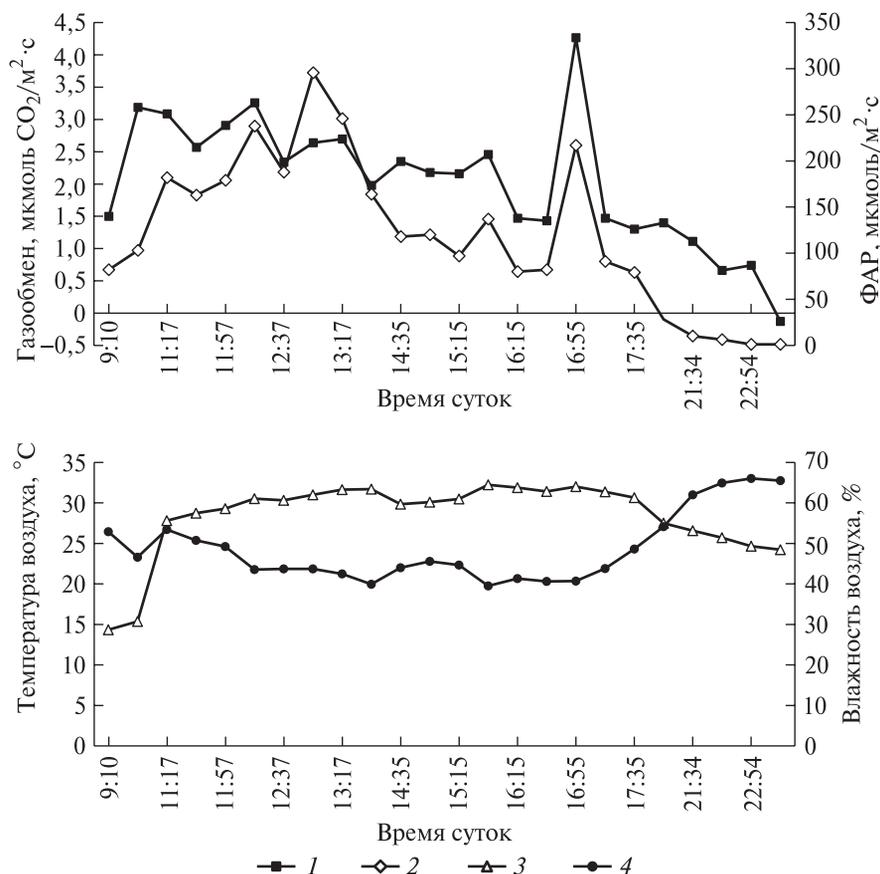


Рис. 2. Дневная динамика интенсивности видимого фотосинтеза (1) *Vaccinium myrtillus*, фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР) (2), температуры (3), влажности воздуха (4) в ельнике чернично-сфагновом, от 04.07.2007 г.

Fig. 2. Daily dynamics of apparent photosynthesis (1) of *Vaccinium myrtillus*, PAR (2), temperature (3), air humidity (4) in blueberry-sphagnum spruce forest at 04.07.2007

В дни с небольшой облачностью связь между фотосинтезом и освещенностью ослабевает. Отмечается положительная связь с температурой воздуха. Линейный характер зависимости фотосинтеза от солнечной радиации и температуры воздуха установлен нами [28] также для хвой ели сибирской в исследуемом ельнике. Летом в жаркие дни наблюдается отрицательная корреляция между скоростью поглощения CO₂ и относительной влажностью воздуха, что свидетельствует об ограничении фотосинтетического процесса при достаточно низкой влажности воздуха.

Наряду с изучением изменений фотосинтетической ассимиляции диоксида углерода в течение дня рассмотрены также максимальные значения дневных интенсивностей этого процесса. Показатель позволяет охарактеризовать потенциальные возможности ассимиляционной деятельности растений в конкретных условиях произрастания [21, 29, 30]. Измерения фотосинтеза листьев черники в летний период показали, что максимальная скорость фотосинтеза в изучаемом ельнике составила 5,11 мкмоль/м²·с и достигалась при освещенности 220 мкмоль/м²·с.

Оптимальным для усвоения CO₂ был диапазон ФАР 124...220 мкмоль/м²·с (рис. 3). Скорость фотосинтеза при интенсивности освещения 100...230 мкмоль/м²·с составляет 60 % максимальной величины. Некоторые исследователи [31] отмечают, что для фотосинтеза кустарничков черники и брусники оптимальна полная освещенность. Диапазон оптимальных температур варьировал в интервале от 21 до 25 °С. Черника способна поглощать диоксид углерода с интенсивностью 60...80 % относительно максимальной при температуре воздуха 15...27 °С. Скорость усвоения CO₂ снижается при температуре около 35 °С.

Дневная фиксация диоксида углерода *V. myrtillus* в ельнике чернично-сфагновом изменяется в пределах 20...25 мг на 1 дм² поверхности листьев. В малооблачную погоду дневная продуктивность фотосинтеза черники может увеличиться в 2 раза. Близкие данные по дневной продуктивности фотосинтеза кустарничка получены К.Ф. Старостиной [15] в еловом сообществе южной тайги.

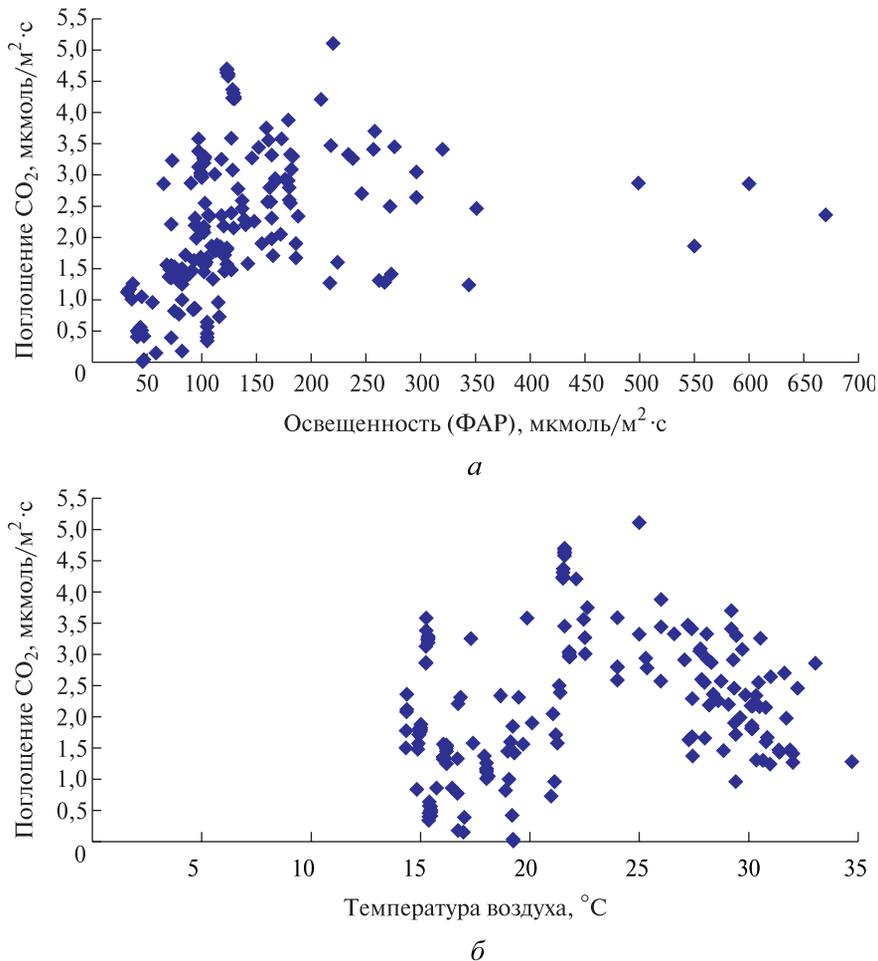


Рис. 3. Влияние солнечной радиации (ФАР), (а) и температуры воздуха (б) на скорость видимого фотосинтеза *Vaccinium myrtillus* в период активной вегетации
Fig. 3. Influence of solar radiation (PAR), (a), air temperature (б) on the rate of photosynthesis of *Vaccinium myrtillus* during the active vegetation period

Выводы

В среднетаежных ельниках черничных Республики Коми надземные части кустарничка *Vaccinium myrtillus* L. накапливают 21,0...30,6 г/м² органического вещества, в том числе углерода 10,3...15,0 г/м², в зависимости от почвенно-экологических условий. В черничном типе леса, развитом на автоморфных почвах, запасы органической массы и содержание углерода *Vaccinium myrtillus* в 1,5 раза выше по сравнению с еловым насаждением, произрастающим на полугидроморфных почвах.

Ассимиляционный аппарат *V. myrtillus* в еловых сообществах способен поглощать диоксид углерода со скоростью до 4,8...5,1 мкмоль/м²·с. Характер усвоения CO₂ в процессе фотосинтеза определяется экологическими условиями. Установлено, что в активный период вегетации поглощение CO₂ в большей степени зависит от освещенности. Оптимальным для фиксации CO₂ (углерода) является диапазон фотосинте-

тически активной солнечной радиации (ФАР) 124...220 мкмоль/м²·с. Выявлена положительная связь видимой интенсивности фотосинтеза с температурой воздуха. Корреляция между фотосинтетической активностью листьев и влажностью воздуха отрицательная. Полученные данные можно использовать при расчете балансовых характеристик углеродного цикла в среднетаежных еловых фитоценозах.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского Северо-Востока России» (122040100031-8).

Список литературы

- [1] Одум Ю.П. Экология. Т. 1. М.: Мир, 1986. С. 126–144.
- [2] Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Лесоведение и лесоводство. Т. 1. Итоги науки и техники. М.: Изд-во ВИНТИ, 1975. С. 9–190.

- [3] Bonan G.B., Shugart H.H. Environmental forests and ecological processes in boreal forests // *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1989, v. 20, pp. 1–28.
- [4] Malhi Y., Baldocchi D.D., Jarvis P.G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests // *Plant, Cell & Environment*, 1999, no. 22, pp. 715–740.
- [5] Goodale C.L., Apps M.J., Birdsey R.A., Field C.B., Heath L.S., Houghton R.A., Jenkins J.C., Kohlmaier G.H., Kurz W., Liu S., Nabuurs G.-J., Nilsson S., Shvidenko A.Z. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere // *Ecological Application*, 2002, v. 12, no. 3, pp. 891–899.
- [6] Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
- [7] Карпов В.Г., Старостина К.Ф. Новые экспериментальные данные о механизмах регуляции видового состава и строения нижних ярусов биогеоценозов темнохвойной тайги // *Механизмы взаимодействия растений в биогеоценозах тайги*. Л.: Наука, 1969. С. 146–199.
- [8] Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Масыгина О.В. Биомасса напочвенного покрова и подлеска в листовенных лесах криолитозоны Средней Сибири // *Сибирский экологический журнал*, 2006. № 2. С. 131–139.
- [9] Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381с.
- [10] Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского северо-востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- [11] Пристова Т.А., Манов А.В., Загирова С.В. Продукция органического вещества и аккумуляция углерода в напочвенном покрове еловых и березовых фитоценозов в предгорьях Приполярного Урала // *Теоретическая и прикладная экология*, 2018. № 2. С. 54–61.
- [12] Фролов П.В. Моделирование популяций кустарничков в лесных экосистемах и их вклад в динамику углерода и азота: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. М., 2020. 22 с.
- [13] Титлянова А.А. Биологический круговорот азота и зольных элементов. Новосибирск: Наука, 1979. 149с.
- [14] Тужилкина В.В. Фитомасса нижних ярусов растительности зеленомошных типов леса. Сыктывкар: Труды Коми филиала АН СССР, 1977. № 32. С. 85–92.
- [15] Старостина К.Ф. Особенности фотосинтеза кустарничков и трав // *Факторы регуляции экосистем еловых лесов*. Л.: Наука, 1983. С. 238–250.
- [16] Mäkipää R. Response patterns of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* along nutrient gradients in boreal forests // *J. of Vegetation Science*, 1999, v. 10, no. 1, pp. 17–26.
- [17] Агроклиматические ресурсы Коми АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 135с.
- [18] Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
- [19] Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2000. 512 с.
- [20] Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // *Экология*, 2001. № 1. С. 69–71.
- [21] Суворова Г.Г., Щербатюк А.С., Янькова Л.С., Копылова Л.Д. Максимальная интенсивность фотосинтеза ели сибирской и лиственницы сибирской в Прибайкалье // *Лесоведение*, 2003. № 6. С. 58–65
- [22] Полянская Т.А. Популяционное разнообразие компонентов травяно-кустарничкового яруса лесных сообществ Национального парка «Марий Чодра»: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 2001.
- [23] Тужилкина В.В. Структура фитомассы и запасы углерода в растениях напочвенного покрова еловых лесов на северо-востоке европейской России // *Растительные ресурсы*, 2012. Т. 48. № 1. С. 44–50.
- [24] Бобкова К.С. Биологическая продуктивность // *Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера*. СПб.: Наука, 2001. С. 52–68.
- [25] Карпов В.Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л.: Наука, 1969. 335 с.
- [26] Карпов В.Г., Ахминова М.П., Патриевская Г.Ф. Факторы, регулирующие состав и численность популяций кустарничков и трав // *Факторы регуляции экосистем еловых лесов*. Л.: Наука, 1983. С. 217–267.
- [27] Галенко Э.П. Радиационный режим в заболоченном старовозрастном ельнике подзоны средней тайги // *Лесоведение*, 2010. № 5. С. 20–30.
- [28] Тужилкина В.В., Галенко Э.П. Экологические основы фотосинтетической фиксации углекислоты хвоей ели в фитоценозах Севера // *Лесоведение*, 2019. № 5. С. 1–12.
- [29] Вознесенский В.Л. Фотосинтез пустынных растений. Л.: Наука, 1977. 256 с.
- [30] Слемнев Н.Н. Особенности фотосинтетической деятельности растений Монголии: эволюционные, экологические и физиологические аспекты // *Физиология растений*, 1996. Т. 43. № 2. С. 418–436.
- [31] Kulmala L., Launiainen S., Pumpanen J., Lankreijer H., Lindroth A., Hari P., Vesala T. H₂O and CO₂ fluxes at the floor of a boreal pine forest. *Tellus B // Chemical and Physical Meteorology*, 2008, v. 60 (2), pp. 167–178.
DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1600-0889.200700327.x>

Сведения об авторе

Тужилкина Валентина Васильевна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН «Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), tuzhilkina@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 05.12.2023.

Одобрено после рецензирования 27.08.2024.

Принята к публикации 05.10.2024.

BLUEBERRY (*VACCINIUM MYRTILLUS* L. ERICACEAE) STOCKS AND CARBON SEQUESTRATION IN MIDDLE-TAIGA SPRUCE FORESTS

V.V. Tuzhilkina

Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Communist st, 167982, Syktyvkar, Russia

tuzhilkina@ib.komisc.ru

The paper deals with the aboveground mass and carbon sequestration of blueberry in native spruce forests of the Komi Republic middle taiga subzone. The aboveground phytomass of blueberry in blueberry–sphagnum and blueberry communities make up 21,0 and 30,6, including carbon 10,3 and 15,0 g/m², respectively. The blueberry accounts for 50 % and 58 % of the total aboveground phytomass of plants of the grass-shrub layer in the studied blueberry spruce forests. The author also considers some ecological aspects of photosynthetic carbon dioxide fixation by blueberry leaves in blueberry-sphagnum spruce forest. In summer during daylight hours, the intensity of photosynthesis largely depends on photosynthetically active solar radiation (PAR). There is a stable positive dependence of photosynthetic activity of leaves during the day and air temperatures. The correlation between the CO₂ absorption rate and relative humidity is negative. The diapasons of optimal environmental parameters (PAR intensity and air temperatures) have been identified within limits of which the highest photosynthetic activity values of plant in summer period are measured. The data obtained can be used for predictive models of the dynamics of organic matter and carbon in taiga ecosystems under both climate change and external impacts on forest communities.

Keywords: blueberry, phytomass, carbon, photosynthesis, spruce forests, middle taiga

Suggested citation: Tuzhilkina V.V. *Massa, zapasy i fiksatsiya ugleroda cherniki Vaccinium myrtillus L. (Ericaceae) v srednetaeshnykh el'nikakh* [Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L. Ericaceae) stocks and carbon sequestration in middle-taiga spruce forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 6, pp. 28–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-6-28-36

References

- [1] Odum Yu.P. *Ekologiya* [Ecology]. T. 1. Moscow: Mir, 1986, pp. 126–144.
- [2] Utkin A.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesov (metody izucheniya i rezul'taty)* [Biological productivity of forests (methods of study and results)]. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forest science and forestry]. T. 1. Itogi nauki i tekhniki [The results of science and technology]. Moscow: VINITI, 1975, pp. 9–190.
- [3] Bonan G.B., Shugart H.H. Environmental forests and ecological processes in boreal forests. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1989, v. 20, pp. 1–28.
- [4] Malhi Y., Baldocchi D.D., Jarvis P.G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell & Environment*, 1999, no. 22, pp. 715–740.
- [5] Goodale C.L., Apps M.J., Birdsey R.A., Field C.B., Heath L.S., Houghton R.A., Jenkins J.C., Kohlmaier G.H., Kurz W., Liu S., Nabuurs G.-J., Nilsson S., Shvidenko A.Z. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere. *Ecological Application*, 2002, v. 12, no. 3, pp. 891–899.
- [6] *Korennyye elovye lesa Severa: bioraznoobrazie, struktura, funktsii* [Indigenous spruce forests of the North: biodiversity, structure, functions]. Eds. K.S. Bobkova, J.P. Galenko. St. Petersburg: Nauka [Science], 2006, 337 p.
- [7] Karpov V.G., Starostina K.F. *Novyye eksperimental'nyye dannyye o mekhanizmaxh regulyatsii vidovogo sostava i stroeniya nizhnikh yarusov biogeotsenozov temnokhvoynoy taygi* [New experimental data on the mechanisms of regulation of species composition and structure of the lower tiers of biogeocenoses in dark coniferous taiga]. *Mekhanizmy vzaimodeystviya rasteniy v biogeotsenozakh taygi* [Mechanisms of plant interaction in taiga biogeocenoses]. Leningrad: Nauka [Science], 1969, pp. 146–199.
- [8] Prokushkin S.G., Abaimov A.P., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. *Biomassa napochvennogo pokrova i podleska v listvennichnykh lesakh kriolitozony Sredney Sibiri* [Biomass of ground cover and undergrowth in larch forests of the permafrost zone of Central Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian ecological J.], 2006, no. 2, pp. 131–139.
- [9] Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. *Bioticheskiy krugovorot na pyati kontinentakh: azot i zol'nye elementy v prirodnykh ekosistemakh* [Biotic cycling on five continents: nitrogen and ash elements in natural ecosystems]. Novosibirsk: SO RAN, 2008, 381 p.
- [10] Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov evropeyskogo severo-vostoka* [Biological productivity of coniferous forests of the European Northeast]. Leningrad: Nauka [Science], 1987, 156 p.
- [11] Pristova T.A., Manov AV., Zagirova S.V. *Produksiya organicheskogo veshchestva i akkumulyatsiya ugleroda v napochvennom pokrove elovykh i berezovykh fitotsenozov v predgor'yakh Pripolyarnogo Urala* [Production of organic matter and carbon accumulation in the ground cover of spruce and birch phytocenoses in the foothills of the Subpolar Urals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], 2018, no. 2, pp. 54–61.
- [12] Frolov P.V. *Modelirovanie populyatsiy kustarnichkov v lesnykh ekosistemakh i ikh vklad v dinamiku ugleroda i azota* [Modeling shrub populations in forest ecosystems and their contribution to carbon and nitrogen dynamics]: Abstr. Diss.Cand. Sci. (Biology). 03.02.08. Moscow, 2020, 22 p.
- [13] Titlyanova A.A. *Biologicheskiy krugovorot azota i zol'nykh elementov* [Biological cycling of nitrogen and ash elements]. Novosibirsk: Nauka [Science], 1979, 149 p.
- [14] Tuzhilkina V.V. *Fitomassa nizhnikh yarusov rastitel'nosti zelenomoshnykh tipov lesa* [Phytomass of the lower layers of green

- moss forest types]. Tr. Komi filiala AN SSSR [Tr. Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR], 1977, v. 32, pp. 85–92.
- [15] Starostina K.F. *Osobennosti fotosinteza kustarnichkov i trav* [Regulatory factors of ecosystems of spruce forests]. Leningrad: Nauka [Science], 1983, pp. 238–250.
- [16] Mäkipää R. Response patterns of *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* along nutrient gradients in boreal forests. *J. of Vegetation Science*, 1999, v. 10, no. 1, pp. 17–26.
- [17] *Agroklimaticheskie resursy Komi ASSR* [Agro-climatic resources of the Komi ASSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 135 p.
- [18] *Bioproduktsionnyy protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* [Bioproduction process in the forest ecosystems of the North]. St. Petersburg: Nauka [Science], 2001, 278 p.
- [19] *Lesnoe khozyaystvo i lesnye resursy Respubliki Komi* [Forestry and forest resources of the Komi Republic]. Moscow: Dizayn. Informatsiya. Kartografiya, 2000, 512 p.
- [20] Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. *Soderzhanie ugleroda i kaloriynost' organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh Severa* [Carbon content and calorie content of organic matter in forest ecosystems of the North]. *Ekologiya* [Ecology], 2001, no. 1, pp. 69–71.
- [21] Suvorova G.G., Shcherbatyuk A.S., Yan'kova L.S., Kopylova L.D. *Maksimal'naya intensivnost' fotosinteza eli sibirskoy i listvennitsy sibirskoy v Pribaykal'e* [Maximum intensity of photosynthesis of Siberian spruce and Siberian larch in the Baikal region]. *Lesovedenie* [Forestry], 2003, no. 6, pp. 58–65.
- [22] Polyanskaya T.A. *Populyatsionnoe raznoobrazie komponentov travyano-kustarnichkovogo yarusa lesnykh soobshchestv Natsional'nogo parka «Mariy Chodra»* [Population diversity of the components of the herb-shrub layer of forest communities of the National Park «Mariy Chodra»]. Dis. Cand. Sci. (Biology). Yoshkar-Ola, 2001, 24 p.
- [23] Tuzhilkina V.V. *Struktura fitomassy i zapasy ugleroda v rasteniyakh napochvennogo pokrova elovykh lesov na severo-vostoke evropeyskoy Rossii* [Phytomass Structure and Carbon Stocks in Ground Cover Plants of Spruce Forests in the North-East of European Russia]. *Rastitel'nye resursy* [Plant resources], 2012, v. 48 (1), pp. 44–50.
- [24] Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost'* [Biological productivity]. *Bioproduktsionnyy protsess v lesnykh ekosistemakh Severa* [Bioproduction process in forest ecosystems of the North]. St. Petersburg: Nauka [Science], 2001, pp. 52–68.
- [25] Karpov V.G. *Eksperimental'naya fitotsenologiya temnokhvoynoy taygi* [Experimental phytocenology of the dark coniferous taiga]. Leningrad: Nauka. [Science], 1969, 336 p.
- [26] Karpov V.G., Akhminova M.P., Patrievskaya G.F. *Faktory, reguliruyushchie sostav i chislennost' populyatsiy kustarnichkov i trav* [Factors regulating the composition and population size of shrubs and grasses]. *Faktory regulyatsii ekosistem elovykh lesov* [Regulatory factors of spruce forest ecosystems]. Leningrad.: Nauka [Science], 1983, pp. 217–267.
- [27] Galenko E.P. *Radiatsionnyy rezhim v zabolochennom starovozrastnom el'nike podzony sredney taygi* [Radiation regime in a swampy old-growth spruce forest in the middle taiga subzone]. *Lesovedeniye* [Forestry], 2010, no. 5, pp. 20–30.
- [28] Tuzhilkina V.V., Galenko E.P. *Ekologicheskie osnovy fotosinteticheskoy fiksatsii uglekisloty khvoey eli v fitotsenozakh Severa* [Ecological basis of photosynthetic fixation of carbon dioxide by spruce needles in phytocenoses of the North]. *Lesovedeniye* [Forestry], 2019, no. 5, pp. 1–12.
- [29] Voznesenskiy V.L. *Fotosintez pustynnykh rasteniy* [Photosynthesis of desert plants]. Leningrad: Nauka [Science], 1977, 256 p.
- [30] Tuzhilkina V.V., Galenko E.P. *Ekologicheskie osnovy fotosinteticheskoy fiksatsii uglekisloty khvoey eli v fitotsenozakh Severa* [Features of photosynthetic activity of plants in Mongolia: evolutionary, ecological and physiological aspects]. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology], 1996, v. 43, no. 2, pp. 418–436.
- [31] Kulmala L., Launiainen S., Pumpanen J., Lankreijer H., Lindroth A., Hari P., Vesala T. H₂O and CO₂ fluxes at the floor of a boreal pine forest. *Tellus B. Chemical and Physical Meteorology*, 2008, v. 60 (2), pp. 167–178.
DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1600-0889.200700327.x>

The study was carried out within the framework of the research topic «Zonal regularities of structure and productivity dynamics of primary and anthropogenically altered phytocenoses in forest and swamp ecosystems of the European North-East of Russia» (122040100031-8).

Author's information

Tuzhilkina Valentina Vasil'evna — Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, tuzhilkina@ib.komisc.ru

Received 05.12.2023.

Approved after review 27.08.2024.

Accepted for publication 05.10.2024.