



Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 3 (45). Сентябрь, 2022

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
В. Krasnov
А. Gugotek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 630*182.21; 574.4

СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА В РАСТЕНИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЛИСТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

ПРИСТОВА

Татьяна Александровна

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми НЦ УрО
РАН, pristova@ib.komisc.ru

Ключевые слова:

тайга
рубки
лиственные леса
концентрация углерода
в растениях

Аннотация: В настоящее время изучение углеродного цикла в лесных экосистемах является актуальным вопросом в современных научных исследованиях. Данные по концентрации углерода позволяют оценить его запасы в фитомассе лесных экосистем – одном из важнейших пулов в цикле углерода. Рубки таежных лесов и последующее лесовосстановление с формированием лиственных насаждений приводят к изменению основных параметров углеродного цикла. Цель работы состояла в определении концентрации углерода в растениях лиственных фитоценозов послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми. Исследования проведены в 12-летнем березово-еловом молодняке, 38-летнем осиново-березовом и 45-летнем лиственно-хвойном насаждениях, произрастающих на месте вырубок. На основании таксационных и геоботанических исследований определено 17 видов растений разных ярусов, наиболее представленных во всех трех исследуемых фитоценозах. Растительные образцы для химического анализа отобраны в 5–20-кратной повторности. Содержание углерода в них определено методом газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (фирма «CE Instruments», Италия). Установлено, что средняя концентрация углерода в изучаемых видах растений составляет от 41.4 ± 1.8 до 50.8 ± 2.4 %. Исследуемые виды растений по концентрации углерода условно разделены на три группы. К первой группе относятся преимущественно мхи и травы, ко второй – береза и осина, к третьей – кустарнички и ель. Выявлено, что концентрация углерода одного и того же вида растения, произрастающего в исследуемых лесных фитоценозах, различается незначительно (1–3 %) и эти различия статистически не значимы ($p > 0.05$). Полученные данные могут использоваться для расчетов запасов углерода в фитомассе лиственных насаждений послерубочного происхождения подзоны средней тайги.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Я. В. Зачиняев

Получена: 21 декабря 2022 года

Подписана к печати: 25 сентября 2022 года

Введение

Одним из основных пулов в углеродном цикле лесных экосистем является его депонирование в фитомассе. Углерод является каркасным элементом органического вещества, в связи с этим запасы углерода тесно взаимосвязаны с фитомассой. Данные по концентрации углерода позволяют оценить его запасы в фитомассе лесных экосистем (Замолодчиков, 2011; Melvin et al., 2015). При расчетах запасов углерода в фитомассе

концентрацию углерода принимали равной 45–50 % а.с.в. (Кобак, 1988). В настоящее время разработаны конверсионные коэффициенты для расчетов запасов углерода в древостоях лесных экосистем (Замолодчиков, Уткин, 2000). Рубки таежных лесов и последующее лесовосстановление с формированием лиственных насаждений приводят к изменению основных параметров углеродного цикла и существенному изменению запасов углерода в фитомассе (Замолодчиков,

2011). Кроме того, рубка лесов и последующее формирование лиственных фитоценозов на месте хвойных приводят к изменению видового состава растений (Дегтева, 2001). Для лесных экосистем Республики Коми определено содержание углерода в различных видах растений для среднетаежных сосновых и еловых фитоценозов (Бобкова, Тужилкина, 2001) и крайнесеверотаежных лесов (Пристова и др., 2018). Цель работы – определение концентрации углерода в наиболее распространенных в среднетаежных лиственных фитоценозах послерубочного происхождения видах растений.

Таблица 1. Характеристика исследуемых лиственных фитоценозов

Тип насаждения	Возраст, лет	Состав древостоя	Число деревьев, экз./га	Почва
Березово-еловый молодняк разнотравно-зеленомошный	12	5Б5Еед.Сед.Ос	467	Торфянисто-подзолисто-глееватая
Осиново-березовое разнотравно-черничное	38	5Ос4Б1Еед.Пх	2778	Торфянисто-подзолисто-глееватая
Лиственнично-хвойное разнотравно-черничное	45	5Ос4Б1С+Е	1675	Иллювиально-железистый подзол

Методы

В исследуемых насаждениях заложены ППП, определены основные характеристики древостоев и тип почвы по общепринятым методикам. Для характеристики живого напочвенного покрова (ЖНП) на каждой ППП определен видовой состав, общее проективное покрытие растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов и проективное покрытие каждого вида. Надземную часть растений ЖНП для химического анализа отбирали в 20-кратной для древесных в 3–5-кратной повторности для каждого фитоценоза. Подземная часть растений ЖНП и тонких древесных корней отбиралась методом монолитов на глубину до 30 см в 10-кратной повторности, крупных древесных корней – путем раскопки и их полного извлечения для каждого вида. Образцы подземных частей растений промывались. Все растительные образцы высушивались до абсолютно сухого веса (а.с.в.) при температуре 105 °С и измельчались. Содержание углерода в растительных образцах определено в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН по аттестованной методике измерений № 88-17641-94-2009 (ФР.1.31.2014.17663) «Методика выполнения измерений содержания углерода

Материалы

Исследования проведены в подзоне средней тайги на базе Ляльского лесозоологического стационара Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Княжпогостского района Республики Коми в березово-еловом молодняке, осиново-березовом и лиственнично-хвойном насаждениях, произрастающих на месте вырубок. В этих насаждениях заложены постоянные пробные площади (ППП) и определены основные характеристики древостоев и тип почвы по общепринятым методикам (табл. 1).

и азота на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O) (фирма «CE Instruments», Италия)). Границы интервала абсолютной погрешности определения концентрации углерода (при уровне абсолютной значимости $p = 0.95$) составили 1.2–2.4 %. Концентрация углерода приведена в % а.с.в., статистически значимые коэффициенты на уровне $p > 0.05$.

Результаты

В исследуемых фитоценозах произрастает около 50 видов растений, в т. ч. древесных – 13, напочвенного покрова – 32–38. Видовое сходство, определяемое с помощью коэффициента Жаккара ($K_{ж}$), между исследуемыми березово-еловым и осиново-березовым насаждениями составляет 70 % (Пристова, 2019), а между ними и лиственнично-хвойным насаждением – 50–60 %.

Древостой исследуемых фитоценозов сложный по составу и представлен березой (*Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh.), елью (*Picea obovata* Ledeb.), осинкой (*Populus tremula* L.) и сосной (*Pinus sylvestris* L.), подрост – березой (*Betula pendula*, *B. pubescens*), елью (*Picea obovata*) и пихтой (*Abies sibirica* Ledeb.). Подлесок представлен ивой козьей (*Salix caprea* L.), и. пятичичинковой (*S. pentandra* L.), и. филиколистной (*S. philicifolia* L.), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia*

L.), шиповником (*Rosa acicularis* Lindl.), жимолостью (*Lonicera pallasii* L.) и можжевельником (*Juniperus communis* L.). При этом в древостое всех трех исследуемых насаждений встречаются только береза, осина и ель (см. табл. 1), в подросте – ель и береза, в подлеске – рябина и ива козья.

Напочвенный покров отличается большой мозаичностью и насчитывает более 30 видов растений в каждом из исследуемых фитоценозов. По показателям проективного покрытия среди кустарничков можно выделить чернику (*Vaccinium myrtillus* L.) и бруснику (*V. vitis-idaea* L.), травы: марьяник лесной (*Melampyrum sylvaticum* L.), золотую розгу (*Solidago virgaurea* L.), иван-чай (*Chamerion angustifolium* (L.) Scop.), бодяк разнолистный (*Cirsium heterophyllum* (L.) Hill.) ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.), луговик дернистый или щучку дернистую (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.) и осоки (*Carex* sp.), среди мхов: кукушкин лен (*Polytrichum commune* Hedw.), сфагнум (*Sphagnum magelanicum* Brid.), хилокомиум (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.) и дикранум (*Dicranum polisetum* Sw.). В напочвенном покрове исследуемых лиственных фитоценозов присутствуют виды *Chamerion angustifolium*, *Melampyrum sylvaticum*, *Cirsium heterophyllum*, *Deschampsia cespitosa*, которые характерны для светлых лиственных лесов и вырубок (Дегтева, 2001). Таким образом, на основании таксационных и геоботанических исследований выделено 17 видов растений, которые наиболее представлены и встречаются во всех трех лиственных фитоценозах. В древостое выделено три древесные породы (береза, осина и ель), в подлеске – две (рябина и ива козья), в травяно-кустарничковом ярусе – 8 (черника, брусника, луговик дернистый, осока, марьяник лесной, иван-чай, золотая розга, бодяк разнолистный) и в моховом – четыре вида растений (сфагнум, кукушкин лен, хилокомиум и дикранум).

Концентрация углерода в исследуемых видах растений составляет от 41.4 ± 1.3 до 50.8 ± 1.8 % а.с.в. (рис. 1, 2, табл. 2). В литературе приводится схожий диапазон содержания углерода в лесных растениях: в среднем 45–53 % а.с.в. (Замолодчиков, 2011), 42–53 % для таежных хвойных (Бобкова, Тужилкина, 2001) и 39–51 % для крайнесеверных лесов Республики Коми (Пристова и др., 2018).

Содержание углерода для трех лесобразующих пород в исследуемых лиственных насаждениях в зависимости от видовой принадлежности и части растения изменяется от 44.3 ± 1.5 до 50.1 ± 1.8 % а.с.в. (см. рис. 1). Диапазон концентрации углерода для этих видов древесных растений таежных лесов Республики Коми находится примерно в таких же пределах – 44.6–49.9 % (Бобкова, Тужилкина, 2001). Довольно близкие к полученным приводятся данные для хвой ели (49.93 %) и листьев березы (47.16 %) в средневозрастных березняках (Melvin et al., 2015). Содержание углерода в различных видах и частях древесных растений дифференцировано, при этом в стволовой древесине оно, как правило, ниже. Среди исследуемых древесных растений наиболее высоким содержанием углерода отличается ель, особенно ее хвоя и ветви, низким – осина, преимущественно ее стволовая древесина. Для таежных лесов Республики Коми также приводятся более низкие показатели концентрации углерода у осины по сравнению с березой и елью (Бобкова, Тужилкина, 2001).

Концентрация углерода в исследуемых подлесочных породах – иве козьей и рябине – изменяется от 45.3 ± 1.6 до 48.9 ± 1.7 % а.с.в. (см. рис. 2). Более низким содержанием углерода по сравнению с рябиной отличается ива. Для исследуемых видов характерно низкое содержание углерода в стволовой древесине и высокое – в ветвях. Концентрация углерода в подземных органах данных видов сопоставима с ветвями и ассимилирующими органами.

В растениях напочвенного покрова исследуемых фитоценозов содержание углерода в зависимости от вида изменяется от 41.4 ± 1.3 до 50.8 ± 1.8 % а.с.в. (см. табл. 2). Согласно литературным данным, в растениях напочвенного покрова таежных лесов Республики Коми диапазон концентрации углерода находится в пределах 42–53 % (Бобкова, Тужилкина, 2001). В крайнесеверных лесных фитоценозах (в т. ч. лиственных) в предгорьях Приполярного Урала Республики Коми содержание углерода в растениях напочвенного покрова варьировало в пределах 39–50 % а.с.в. (Пристова и др., 2018). Можно отметить, что практически для всех общих с крайнесеверными фитоценозами видов растений концентрация углерода ниже по сравнению с исследуемыми.

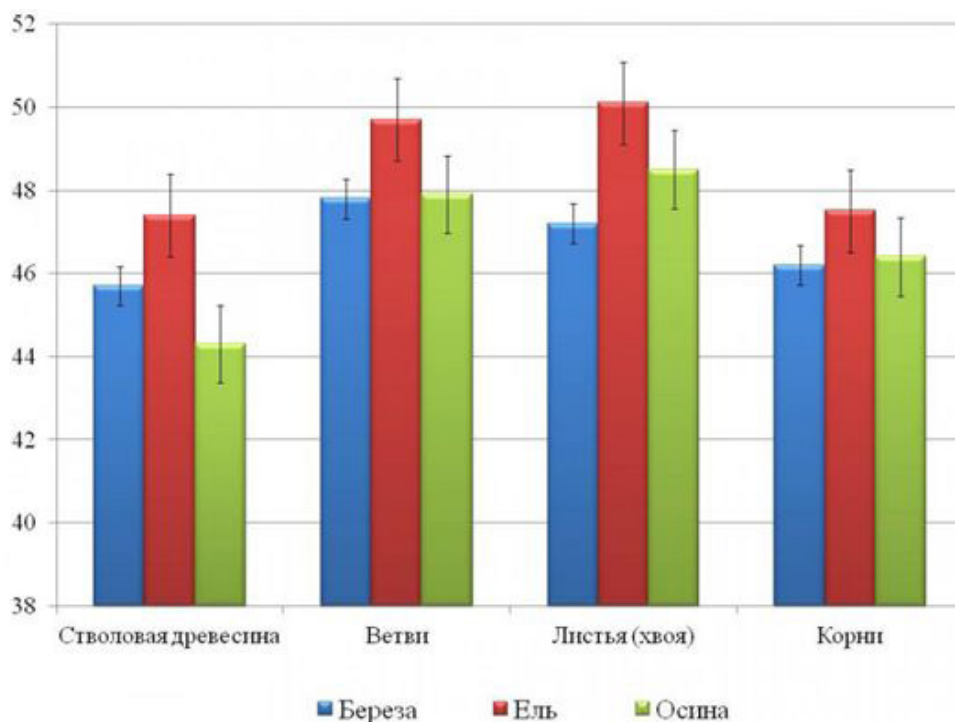


Рис. 1. Средняя концентрация углерода в древесных растениях древостоя лиственных фитоценозов, % а.с.в.

Fig. 1. Average concentration of carbon in plants of tree stands of deciduous phytocenoses, % dry matter

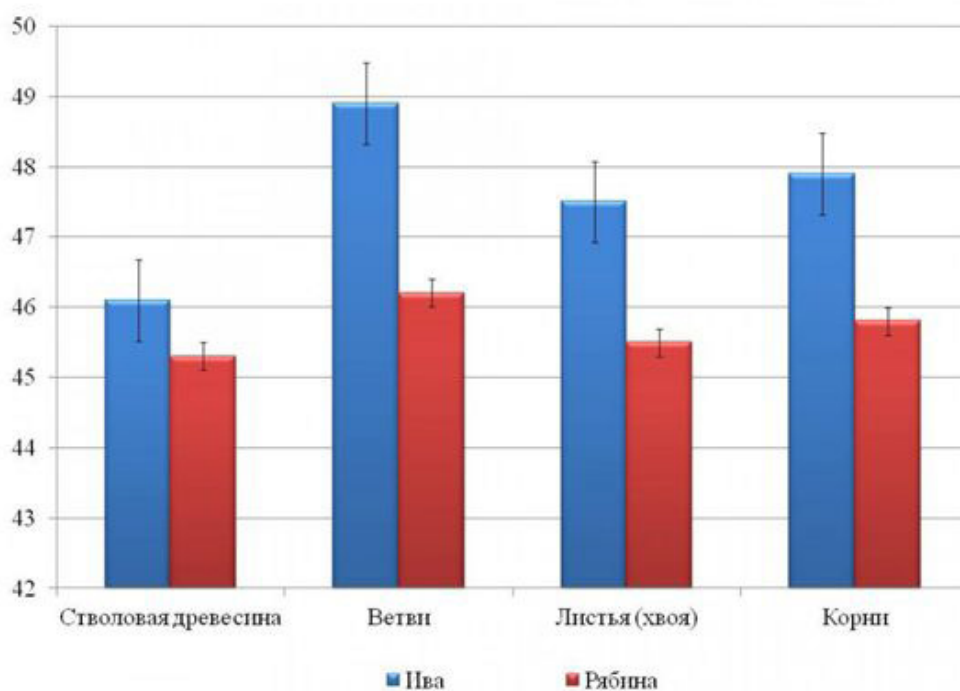


Рис. 2. Средняя концентрация углерода в древесных растениях подлеска лиственных фитоценозов, % а.с.в.

Fig. 2. Average concentration of carbon in woody plants of the undergrowth of deciduous phytocenoses, % dry matter

Таблица 2. Средняя концентрация углерода в растениях напочвенного покрова лиственных фитоценозов, % а.с.в.

Травы	С ± Δ, %	Кустарнички и мхи	С ± Δ, %
Надземная часть			
Луговик дернистый	43.1 ± 1.4	Черника	50.8 ± 1.8
Осоки	41.4 ± 1.3	Брусника	48.9 ± 1.7
Марьянник лесной	43.4 ± 1.5	Кукушкин лен	44.7 ± 1.6
Золотая розга	43.9 ± 1.5	Сфагнум	42.5 ± 1.4
Иван-чай	46.2 ± 1.6	Хилокомиум	42.6 ± 1.4
Бодяк разнолистный	43.2 ± 1.5	Дикранум	42.8 ± 1.5
Подземная часть			
Травянистые растения	43.1 ± 1.4	Кустарнички	48.4 ± 1.7

Примечание. ±Δ – границы интервала абсолютной погрешности при $p = 0.95$.

Низким содержанием углерода среди исследуемых растений отличаются мхи и осоки, наиболее высоким – кустарнички (см. табл. 2). Для мхов таежных лесов Коми приводится схожий уровень концентрации углерода – 42–45 %, а для кустарничков – более широкий диапазон от 48 до 53 % (Бобкова, Тужилкина, 2000). Концентрация углерода в подземной части травянистых растений и кустарничков в среднем схожа с их надземной. В растениях напочвенного покрова, как и в древесных, содержание углерода в разных частях растения отличается. Например, в молодых побегах черники в лиственничном насаждении содержится 53.8 %, а в старых – 48.0 % углерода.

Нами установлено, что концентрация углерода одного и того же вида растения, произрастающего в исследуемых лесных фитоценозах, различается незначительно – не более 1–2 %, что не превышает пределов погрешности. Например, содержание углерода в надземной части луговика дернистого в лиственничном насаждении составляет 43.01, в березово-еловом молодняке – 43.10, в осиново-березовом насаждении – 43.18 % а.с.в. В подземных органах травянистых растений диапазон содержания углерода во всех трех исследуемых фитоценозах варьировал от 43 до 44 %. Влияние различий между условиями местообитания исследуемых лиственных фитоценозов на концентрацию углерода в отдельных частях древесных растений также незначительно. Так, концентрация углерода в листьях осины в лиственничном насаждении составляет 48.1, в осиново-березовом насаждении – 48.9 % а.с.в. Различия в концентрации углерода для одних и тех же видов и частей растений исследуемых лиственных фитоценозов статистически не значимы ($p > 0.05$).

Обсуждение

Результаты исследований по содержанию углерода в растениях, произрастающих в лиственных лесах послерубочного происхождения, позволяют определить их место среди имеющегося в настоящее время фактического материала по данному показателю для таежных лесов Республики Коми. На первый взгляд, диапазон показателей концентрации углерода в исследованных фитоценозах по сравнению с данными других исследователей довольно близок. Если в полученных данных содержание углерода составляет 41–51 % а.с.в., то в литературе приводится схожий диапазон: 42–53 % для среднетаежных хвойных лесов (Бобкова, Тужилкина, 2001) и 39–51 % для крайнесеверных (Пристова и др., 2018). Однако различия, пусть и небольшие, существуют и в определенной степени они обусловлены различием в видовом составе фитоценозов и более низкой концентрацией углерода в растениях крайнесеверных лесов.

Согласно полученным данным, по уровню накопления углерода изучаемые виды растений можно условно разделить на три группы: 1) концентрация углерода менее 45 %; 2) концентрация углерода в диапазоне 45–48 %; 3) концентрация углерода превышает 48 %. К первой группе относятся мхи и травянистые растения, ко второй – береза и осина, к третьей – кустарнички и ель. Однако в выделенных группах есть исключения. Например, для иван-чая характерно более высокое содержание углерода, не совсем характерное для других видов трав (см. табл. 2). Среди древесных растений исключением является осина, для которой характерна низкая концентрация углерода в ствольной древесине (менее 45 %), чем в остальных частях дерева

(см. рис. 1). Все это указывает на видоспецифичность и выявляет индивидуальные особенности в содержании углерода для исследуемых видов растений.

Установлено, что в древесных растениях содержание углерода выше, чем в большинстве травянистых. Такая же особенность отмечается и в других исследованиях (Бобкова, Тужилкина, 2000; Пристова и др., 2018). Возможно, эти различия в концентрации углерода частично обусловлены тем, что для травянистых растений характерно высокое содержание зольных элементов, и в связи с этим более низкое значение этого показателя, чем в древесине, содержащей в своем составе большое количество лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы (Кобак, 1988).

Одним из важных результатов, которое может иметь дальнейшее применение в исследованиях, является то, что различия в концентрации углерода для одних и тех же видов растений исследуемых лиственных фитоценозов независимо от их возраста и состава древостоя статистически не значимы.

Библиография

- Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–74.
- Дегтева С. В. Классификация березняков подзон южной и средней тайги Республики Коми. I. Березняки травянистые (*Betula herbosa*) // Растительность России. 2001. № 2. С. 3–37.
- Замолотчиков Д. Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 4 (29). С. 15–22.
- Замолотчиков Д. Г., Уткин А. И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. № 6. С. 54–63.
- Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 246 с.
- Пристова Т. А. Динамика надземной фитомассы живого напочвенного покрова в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019. Т. 21, № 2. С. 204–209.
- Пристова Т. А., Загирова С. В., Манов А. 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. 53–61. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-053/2-061.
- Melvin A. M., Michelle C. M., Johnstone J. F., McGuire A. D., Genet H., Schuur E. A. G. Differences in ecosystem carbon distribution and nutrient cycling linked to forest tree species composition in a mid-successional boreal forest // Ecosystems. 2015. № 18. P. 1472–1488. DOI: 10.1007/s1007-015-9912-7.

Благодарности

Выражаю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера, а также Тумановой Е. А., ведущему инженеру-химику экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН (№ АААА-А 17-117122090014-8) «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России».

Заключение

Определено содержание углерода в 17 видах растений, относящихся к древостой, подлеску и напочвенному покрову и наиболее представленных в трех разновозрастных среднетаежных лиственных фитоценозах послерубочного происхождения. Согласно полученным данным, концентрация углерода в исследуемых видах растений находится в диапазоне от 41.4 ± 1.8 до 50.8 ± 2.4 % а.с.в., и по уровню его накопления их можно условно разделить на три группы: 1) менее 45 % (мхи и травы); 2) 45–48 % (лиственные и подлесочные породы); 3) более 48 % (ель и кустарнички). Установлено, что концентрация углерода одного и того же вида растения, произрастающего в каждом из исследуемых лесных фитоценозов, различается незначительно – не более 1–3 % и статистически незначимы ($p > 0.05$). Полученные результаты могут использоваться для оценки запасов углерода в фитомассе при изучении углеродного цикла среднетаежных лиственных фитоценозов послерубочного происхождения.

CARBON CONTENT IN PLANTS OF THE MIDDLE TAIGA DECIDUOUS FOREST OF THE KOMI REPUBLIC

PRISTOVA
Tatyana Alexandrovna

*PhD, Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IB Komi SC UB RAS),
pristova@ib.komisc.ru*

Keywords:

taiga
cutting
deciduous forest
carbon concentration in plants

Summary: At present, the study of the carbon cycle in forest ecosystems is a topical issue in modern scientific research. Data on the carbon concentration allow us to estimate its reserves in the phytomass of forest ecosystems – one of the most important pools in the carbon cycle. Logging of taiga forests and subsequent reforestation with the formation of deciduous plantations leads to a change in the main parameters of the carbon cycle. The aim of the work was to determine the carbon concentration in plants of deciduous phytocenoses of post-harvest origin in the conditions of the middle taiga of the Komi Republic. The studies were carried out in 12-year-old birch-spruce young stands, 38-year-old aspen-birch and 45-year-old deciduous-coniferous stands growing at the site of felling. Based on taxation and geobotanical studies, 17 plant species of different tiers were identified as the most represented in all three studied phytocenoses. Plant samples for chemical analysis were taken in 5–20 replicates. The carbon content in them was determined by gas chromatography on the EA 1110 (CHNS-O) element analyzer (CE Instruments, Italy). It was found that the average concentration of carbon in the studied plant species ranged from 41.4 ± 1.8 to 50.9 ± 2.4 %. The studied plant species by carbon concentration were conventionally divided into 3 groups. The first group included mainly mosses and grasses, the second – birch and aspen, and the third – shrubs and spruce. It was revealed that the carbon concentration of the same plant species growing in the studied forest phytocenoses differed slightly (1–3 %) and these differences are not statistically significant ($p > 0.05$). The obtained data can be used to calculate carbon stocks in the phytomass of deciduous plantations of post-cutting origin of the middle taiga subzone.

Reviewer: Y. V. Zachinyaev

Received on: 21 December 2021

Published on: 25 September 2022

References

- Bobkova K. S. Tuzhilkina V. V. Carbon content and calorie content of organic matter in forest ecosystems of the North, *Ekologiya*. 2001. No. 1. P. 69–74.
- Degteva S. V. Classification of birch forests of subzones of the southern and middle taiga of the Komi Republic. I. Herbaceous birch forests (*Betula herbosa*), *Rastitel'nost' Rossii*. 2001. No. 2. P. 3–37.
- Kobak K. I. Biotic components of the carbon cycle. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 246 p.
- Melvin A. M., Michelle C. M., Johnstone J. F., McGuire A. D., Genet H., Schuur E. A. G. Differences in ecosystem carbon distribution and nutrient cycling linked to forest tree species composition in a mid-successional boreal forest, *Ecosystems*. 2015. No. 18. P. 1472–1488. DOI: 10.1007/s 1007-015-9912-7.
- Pristova T. A. Zagirova S. V. Manov A. V. 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*. 2018. No. 2. P. 53–61. DOI: 10. 25750/1995-4301-2018-2-053/2-061.
- Pristova T. A. Dynamics of the aboveground phytomass of the living ground cover in deciduous phytocenoses of post-cutting origin, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2019. T. 21, No. 2. P. 204–209.
- Zamolodchikov D. G. Utkin A. I. The system of conversion relations for calculating the net primary production of forest ecosystems by plantation stock, *Lesovedenie*. 2000. No. 6. P. 54–63.
- Zamolodchikov D. G. Systems for assessing and predicting carbon stocks in forest ecosystems, *Ustoychivoe lesopol'zovanie*. 2011. No. 4 (29). P. 15–22.