

УГЛЕРОДНЫЙ ПУЛ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИГОРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРАСНОЯРСКА

С.К. Мамедова✉, А.А. Вайс, А.И. Мельник,
П.В. Михайлов, А.Г. Неповинных

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), Россия, 660037, г. Красноярск, ул. Проспект имени газеты «Красноярский рабочий», д. 31

mamedova_ceva@mail.ru

Приведена сравнительная характеристика запасов углерода живого напочвенного покрова между участками с различными лесорастительными условиями, расположенными на опытной территории Караульного участкового лесничества в пригородной зоне Красноярск. Установлено, что максимальное накопление запасов углерода живого напочвенного покрова приурочено к открытым (безлесным) участкам, а также к сосняку папоротниково-крупнотравному. Отмечено значительное депонирование углерода в сосняке бруснично-зеленомошного типа, поскольку в аккумуляцию углерода живого напочвенного покрова существенный вклад вносит моховой ярус. Установлена тесная связь между относительной полнотой и конверсионными коэффициентами для участков с различными лесорастительными условиями. **Ключевые слова:** живой напочвенный покров, запас углерода, конверсионный коэффициент, тип леса

Ссылка для цитирования: Мамедова С.К., Вайс А.А., Мельник А.И., Михайлов П.В., Неповинных А.Г. Углеродный пул живого напочвенного покрова пригородных территорий Красноярск // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2025. Т. 29. № 3. С. 40–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-40-51

Живой напочвенный покров (ЖНП), с точки зрения секвестрации углерода, является одним из наименее изученных компонентов лесной экосистемы. При сплошном покрытии запасы углерода в фитомассе ЖНП в бореальной зоне сопоставимы с запасами ассимиляционного аппарата полого древостоя [1, 2]. В связи с этим оценка запасов напочвенного растительного покрова относится к важным задачам современных исследований углеродного цикла [3].

Комплекс биологических исследований наряду с оценкой запасов фитомассы и ее годичной продукции включает в себя изучение видового разнообразия, численности и размеров особей в составе фитоценопопуляции [4, 5]. Объективные сведения о фитомассе ЖНП позволяют оценить пул депонирования углерода, количество опада, его пожарную опасность и хозяйственную значимость вида как источника получения лекарственного и плодово-ягодного сырья и т. п. [5].

В целом по России в нижних ярусах лесной экосистемы содержится 6,2 % фитомассы (надземной и подземной), в том числе доля подроста и подлеска составляет 1,8 %, ЖНП — 4,4 %. Максимальный запас фитомассы ЖНП (82,2 %) наблюдается в азиатской части России [6]. Между тем количественных данных о

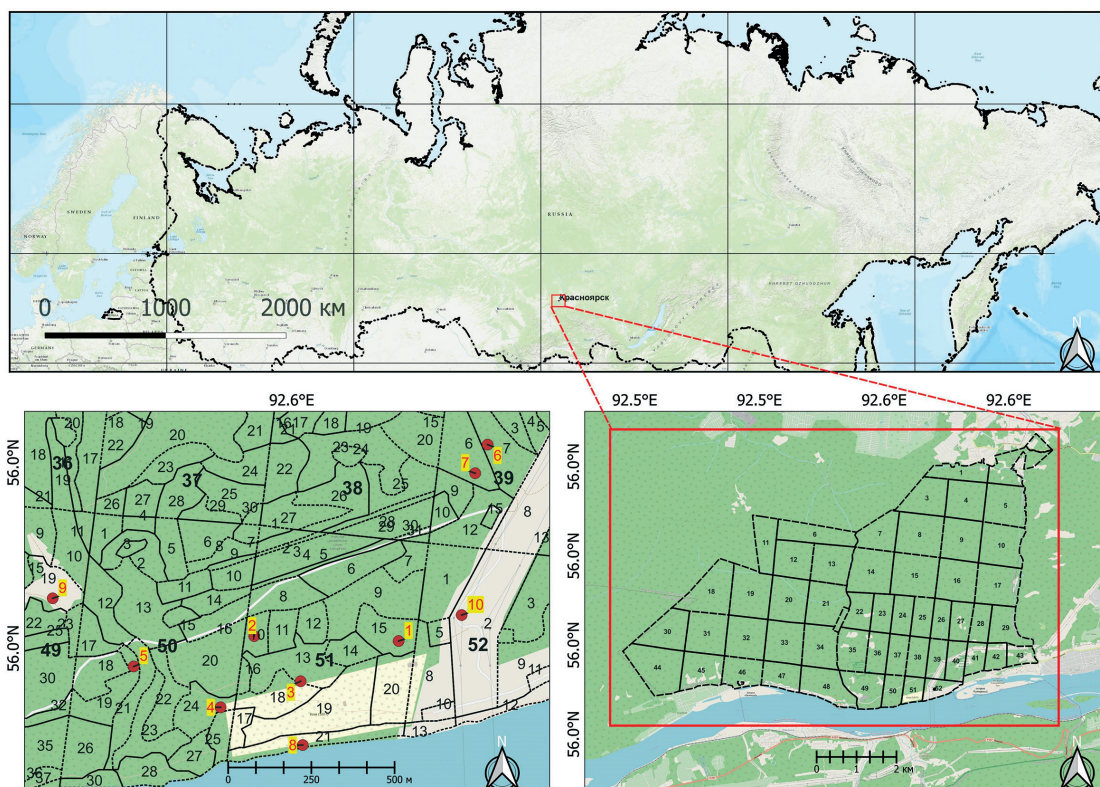
продуктивности растений ЖНП и их участии в углеродном цикле лесных экосистем таежной зоны в настоящее время недостаточно [7–11].

В иностранных публикациях так же, как и в отечественной литературе полномасштабная информация о запасах углерода ЖНП отсутствует [12, 13], за исключением сведений о фитомассе надземной части растений [14–16].

Круговорот углерода в наземных экосистемах (углеродный цикл) занимает особое место в функционировании биосферы. В его основе лежат два процесса глобального значения: 1) фотосинтетическое связывание (или сток) углерода; 2) гетеротрофное высвобождение при биологическом разложении органического вещества, определяющее возврат в атмосферу углерода из почвы [2, 17].

Углерод — это элемент с неактивной миграционной способностью, в биологическом цикле его значительная часть надолго задерживается в фитомассе древесных растений [18]. Большая часть углерода аккумулируется растениями напочвенного покрова, по сравнению с древесным ярусом, и высвобождается в течение одного года [19].

В состав ЖНП входят травяно-кустарниковый и мохово-лишайниковый ярусы [20], а в структуре подавляющего большинства зрелых и перестойных таежных лесов бореального пояса существенное значение имеет мохово-лишайниковый ярус, который по запасам и формирова-



Местоположение опытной территории Караульного участкового лесничества и пробных площадей
Location of the experimental area of the Karaulnoe district forestry unit and trial plots

нию хранилища органического вещества превосходит травяно-кустарничковый ярус [3, 6, 8].

Данные о содержании углерода в ЖНП в различных источниках разнятся [21–23]. В частности, в работе [21] констатируется, что в травяно-кустарничковом ярусе масса углеродного пула составляет 48,7...50,0 %, в живой и отмерших частях мхов — 41,2...42,5 % соответственно. По данным работы [22], содержание углерода в массе травы составляет 49,2 %, массе кустарничков — 50,8, мхов — 41,8 %. Как показано в работе [23], расчет запасов углерода проводится с помощью переводных коэффициентов: для травянистой растительности — 0,43; мохового яруса — 0,45; лишайникового — 0,45.

Живой напочвенный покров — это динамичный компонент, поскольку с возрастом насаждений изменяется его структура и запас. Установлено [24], что доля участия ЖНП в суммарном запасе углерода, в частности, в биомассе сосняка, сокращается с 3,4 % в возрасте 20 лет до 0,5 % по достижении 90 лет. Из этого следует, что продуктивность нижних ярусов древостоев в различных фитоценозах зависит от сомкнутости верхнего полога, загущенности подроста и подлеска, а также связана с изменениями, происходящими в древостое соответственно его возрастному развитию [21].

Следовательно, оценка углеродного пула ЖНП значимая и актуальная проблема для лесных экосистем.

Цель работы

Цель работы — сравнительная характеристика ЖНП на лесных участках с различными лесорастительными условиями в пределах пригородной части Красноярска.

Материалы и методы

Объект исследования — опытная территория Караульного участкового лесничества в пределах Учебно-опытного лесхоза СибГУ им. академика М.Ф. Решетнёва в пригородной зоне Красноярска (рис. 1). Местность относится к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району [25].

Полевые работы были проведены в период максимального вегетационного развития ЖНП, т. е. между стадиями цветения и плодоношения (июль — август 2022 г.).

Учет надземной фитомассы ЖНП проводили методом укосов [26]. Для этого закладывали учетные площадки размером 0,25 м², равномерно размещая их на каждой пробной площади.

Количество учетных площадок определяли исходя из степени однородности растительного покрова. В качестве инструментов использовали рамку (0,5×0,5 м), рулетку и ножницы. На учетных площадках учитывали видовой состав, высоту яруса травяной растительности или толщину мохового покрова, а также проективное покрытие. Все растения срезали ножницами на уровне поверхности почвы и сортировали по группам: травы, мхи, кустарнички, папоротники. Такая сортировка ЖНП соответствовала методике, изложенной в работе [27].

Кроме того, травяная ветошь и мертвая часть мохового яруса отсеивались. Толщина (длина) мха замерялась до первых признаков отмирания осевого стебля.

При обнаружении неизвестных видов растений использовали определитель [28] или обращались к специалисту-ботанику.

Взятые образцы взвешивали в воздушно-сухом состоянии. Для определения влажности растений отбирали навески, которые выдерживали в течение 8 ч (при температуре 105 °С) в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния. Затем взвешивали на электронных весах с точностью до 0,01 г. Массы навесок в абсолютно сухом и воздушно-сухом состоянии использовали для вычисления абсолютно сухой массы ЖНП.

На рисунке представлена квартальная сеть (кварталы, выделы) опытной территории Караульного участкового лесничества в пригородной зоне Красноярска. Пробные площади обозначены (1...10) желтым маркером.

Запасы углерода обычно оцениваются по абсолютно сухой фитомассе растений с исполь-

зованием коэффициентов [29]. Для перехода от абсолютно сухой массы ЖНП (т/га) к его запасам углерода (т С/га) использовали переводной коэффициент 0,484, предложенный белорусскими учеными для сосновых насаждений [30], который несколько отличается от стандартного коэффициента 0,5.

Конверсионный коэффициент (К) для ЖНП вычисляли по формуле

$$K = \frac{C}{M},$$

где С — запас углерода в ЖНП, т С/га;

М — запас древостоя, м³/га.

Все количественные показатели фитомассы и запаса углерода обработаны в программах Microsoft Excel, Statgraphics.

Результаты и обсуждение

Пробные площади являлись модальными для исследуемой территории и отражали все многообразие условий местопроизрастания. На пробных площадях провели глазомерно-измерительную таксацию (табл. 1, 2), а также учет всей надземной фитомассы ЖНП.

Так как свет является одним из важнейших факторов для растений [31], пробные площади подбирались разных полнот (0,34...1,06) и типов ландшафта [32]. Семь площадей относились к закрытому типу (ЖНП формировался под пологом древесного яруса — ПП 1–7), а три участка — открытому (ПП 8–10).

Максимальные значения показателей травянистой растительности (не под пологом древес-

Т а б л и ц а 1

Таксационная характеристика пробных площадей (№ 1–7)

Silvicultural and forest inventory of the studied trial areas (No 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Состав древостоя	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота деревьев, м	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ /га	Характеристика склона
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	10С	130	32	25	0,92	370	ЮВ: 10°
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	10С	100	26	29	1,06	504	ЮВ: 10°
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	10С	130	30	27	0,76	331	ЮВ: 22°
4	Орляковый (С ор)	10Сед.Б	130	38	25	0,83	333	ЮВ: 7°
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	9С1Б	100	35	28	0,56	254	Ю: 2°
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	10Сед.Б	80	41	30	0,34	168	В: 9°
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	6С4Б	80	45	30	0,91	447	В: 16°

Т а б л и ц а 2

Таксационная характеристика пробных площадей (№ 8–10)

Silvicultural and forest inventory of the studied trial plots (No 8–10)

Номер пробной площади	Участок	Характеристика склона	Растения травяно-кустарничкового и мохового ярусов
8	Берег р. Енисей	Ю: 4°	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim., <i>Vicia cracca</i> L., <i>Lathyrus pratensis</i> L., <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Poa pratensis</i> L., <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Alopecurus pratensis</i> L., <i>Stellaria graminea</i> L., <i>Dactylis glomerata</i> L. и др.
9	Сенокос	ЮВ: 10°	<i>Achillea millefolium</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Hemerocallis lilio-asphodelus</i> L., <i>Sanguisorba officinalis</i> L., <i>Centaurea scabiosa</i> L., <i>Vicia amoena</i> Fisch., <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb., <i>Geranium pratense</i> L. и др.
10	Под ЛЭП	ЮВ: 5°	<i>Achillea millefolium</i> L., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Vicia amoena</i> Fisch., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Vicia unijuga</i> L., <i>Centaurea scabiosa</i> L., <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb., <i>Artemisia campestris</i> L. и др.
Примечание. Фитомассу ЖНП замеряли в окнах соснового насаждения берега р. Енисей.			

Т а б л и ц а 3

Наиболее распространенные виды растений в изучаемых фитоценозах (ПП 1–7)

The most common plant species in the studied phytocenoses (sample areas numbered 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Растения травяно-кустарничкового и мохового ярусов
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Vicia unijuga</i> A. Braun, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst., <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al. и др.
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	<i>Pyrola rotundifolia</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst., <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt. и др.
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	<i>Linnaea borealis</i> L., <i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Vicia unijuga</i> A. Braun, <i>Fragaria vesca</i> L., <i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst. и др.
4	Орляковый (С ор)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Vicia unijuga</i> A. Braun, <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Galium boreale</i> L., <i>Vicia sylvatica</i> L., <i>Orthilia secunda</i> (L.) House, <i>Trifolium lupinaster</i> L., <i>Thalictrum minus</i> L. и др.
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	<i>Carex macroura</i> Meinsh., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Pyrola rotundifolia</i> L., <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt, <i>Viola uniflora</i> L., <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L., <i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br., <i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst. и др.
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle, <i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb., <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Vicia sylvatica</i> L., <i>Heracleum dissectum</i> Ledeb., <i>Crepis sibirica</i> L., <i>Vicia sepium</i> L., <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth и др.
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn, <i>Thalictrum simplex</i> L., <i>Angelica sylvestris</i> L., <i>Cimicifuga foetida</i> L., <i>Crepis sibirica</i> L., <i>Lathyrus gmelinii</i> Fritsch, <i>Rubus saxatilis</i> L., <i>Equisetum pratense</i> Ehrh., <i>Pulmonaria mollis</i> Wulfen ex Hornem. и др.

ного яруса) зафиксированы на последних трех участках: в окнах соснового насаждения на берегу р. Енисей, сенокосе, пространстве под линиями электропередач — ЛЭП (см. табл. 2).

В участках закрытого типа ландшафта произрастали преимущественно чистые сосняки (*Pinus*

syvestris L.) с примесью березы (*Betula pendula* Roth). Возраст насаждений — от 80 до 130 лет. Размерные показатели древостоя варьировали достаточно широко: средний диаметр ствола — от 26 до 45 см, средняя высота дерева — от 25 до 30 м, запас древесины — от 168 до 504 м³/га.

Т а б л и ц а 4

Запасы углерода в живом напочвенном покрове (ПП 1–7)

Carbon sequestration in living ground cover (trial plots numbered 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Травы		Мхи		Кустарнички		Папоротники		Общий запас углерода	
		т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	0,30	19	1,14	73	0,13	8	–	–	1,58	100
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	0,36	52	0,33	48	–	–	–	–	0,69	100
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,21	32	0,21	34	0,22	34	–	–	0,64	100
4	Орляковый (С ор)	0,17	27	–	–	–	–	0,46	73	0,63	100
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,40	81	0,019	4	0,003	1	0,07	14	0,49	100
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	2,05	89,6	0,009	0,4	–	–	0,23	10	2,29	100
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	0,58	83	–	–	–	–	0,12	17	0,69	100

Т а б л и ц а 5

Запасы углерода в живом напочвенном покрове (ПП 8–10)

Carbon sequestration in living ground cover trial plots numbered 8–10)

Номер пробной площади	Участок	Травы		Мхи		Кустарнички		Папоротники		Общий запас углерода	
		т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%	т С/га	%
8	Берег р. Енисей	1,99	99	0,015	1	–	–	–	–	2,01	100
9	Сенокос	2,46	100	–	–	–	–	–	–	2,46	100
10	Под ЛЭП	1,70	83	–	–	–	–	0,34	17	2,03	100

В результате учета флористического состава ЖНП определено более 70 видов растений (табл. 2, 3).

Определены предельные значения запаса углерода ЖНП (табл. 4, 5). На территории опытного объекта запас варьирует от 0,49 до 2,46 т С/га.

Максимальное количество углерода в ЖНП наблюдается на открытых (безлесных) участках и в сосняках с высоким проективным покрытием брусники, зеленых мхов и папоротников (сосняки бруснично-зеленомошный и папоротниково-крупнотравный). К примеру, в сосняке папоротниково-крупнотравного типа леса с низкой полнотой общий запас углерода ЖНП составил 2,29 т С/га, что превышает

запасы углерода в других типах леса в среднем на 66,0 %.

На пробных площадях № 1–3 в аккумуляцию органических веществ ЖНП существенный вклад вносит моховой ярус. Так, в сосняке бруснично-зеленомошном (ПП-1) доля участия мохового яруса в общем запасе ЖНП составила 73,0 %, в сосняке грушанково-зеленомошном (ПП-2) — 48,0 %, а в сосняке осочково-разнотравном (ПП-3) — 34,0 %. В составе зеленых мхов обнаружены плеурозиум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.), ритидиладельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.).

Т а б л и ц а 6

Аллометрические показатели живого напочвенного покрова (ПП 1–7)

Ground vegetation allometric attributes (trial plots numbered 1–7)

Номер пробной площади	Сосняк	Относительная полнота древостоя	Запас древостоя, м³/га	Запас углерода в ЖНП, т С/га	Конверсионный коэффициент, т С/м	Фитоценоотическая характеристика		
						Суммарное проективное покрытие, %		Средняя высота травы, см
						ЖНП	травы	
1	Бруснично-зеленомошный (С брзм)	0,92	370	1,58	0,0043	141,4	42,0	17,6
2	Грушанково-зеленомошный (С гршзм)	1,06	504	0,69	0,0014	147,6	97,8	13,9
3	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,76	331	0,64	0,0019	149,4	41,4	19,6
4	Орляковый (С ор)	0,83	333	0,63	0,0019	163,6	70,0	21,7
5	Осочково-разнотравный (С осрт)	0,56	254	0,49	0,0019	131,4	96,8	21,6
6	Папоротниково-крупнотравный (С пкт)	0,34	168	2,29	0,0136	156,8	110,8	57,6
7	Орляково-крупнотравный (С оркт)	0,91	447	0,69	0,0016	182,0	130,0	38,2

Т а б л и ц а 7

Аллометрические показатели живого напочвенного покрова (ПП 8–10)

Ground vegetation allometric attributes (trial plots numbered 8–10)

Номер пробной площади	Участок	Запас углерода в ЖНП, т С/га	Фитоценоотическая характеристика		
			Суммарное проективное покрытие, %		Средняя высота травы, см
			ЖНП	Травы	
8	Берег р. Енисей	2,01	111,8	110,2	79,5
9	Сенокос	2,46	100,6	100,6	48,6
10	Под ЛЭП	2,03	100,2	80,2	54,3

Проективное покрытие мохового покрова на шести пробных площадях (№ 1–3, 5–8) варьировало в среднем от 1,6 до 82,4 %, а его толщина — от 2 до 7 см. В сосняках с преобладанием зеленомошной формации (ПП 1–3) среднее проективное покрытие составило 55,1 %, его средняя толщина — 4,7 см.

В сосняке орляковом (ПП-4) зафиксировано 73,0 % запаса углерода — орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), на участке под ЛЭП — 17,0 %, в сосняке осочково-разнотравном (ПП-5) — 14,0 %, а в сосняке орляково-крупнотравном (ПП-7) — 17,0 %. В сосняке папоротниково-крупнотравном (ПП-6) среди папоротников обнаружены два вида: кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth)

и орляк обыкновенный. На данном участке запас углерода кочедыжника женского составил 0,20 т С/га (8,9 %), орляка — 0,02 т С/га (1,1 %).

Проективное покрытие папоротникового яруса на пяти пробных площадях (№ 4–7, 10) составило в пределах 20...93,6 % (в среднем 51,9 %), а высота данного яруса — 57,5...85,0 см (в среднем 72,9 см). Встречалось 2 вида папоротников: орляк обыкновенный и кочедыжник женский.

Кустарничковый ярус — *Vaccinium vitis-idaea* L., *Linnaea borealis* L. достигал 17,0 и 75 % покрытия соответственно, высота кустарничков — в среднем 11 см. Конверсионные коэффициенты позволяют оценить запас углерода в ЖНП на 1 м³ ствольной древесины (табл. 6, 7). В настоящем исследовании значения конвер-

сионных коэффициентов для различных типов леса варьируют от 0,0014 до 0,0136 т С/м³.

Различие значений конверсионных коэффициентов и наличие открытых пространств указывает на возможность распределения данных на две группы: 1) абсолютные значения запаса углерода ЖНП (открытые пространства и сосняки со значительными запасами углерода — бруснично-зеленомошного и папоротниково-крупнотравного типов леса); 2) относительные значения запаса углерода ЖНП (сосновые насаждения различных типов леса). На участках с различными лесорастительными условиями установлена тесная связь между относительной полнотой и конверсионными коэффициентами ($r = -0,74$, корреляция достоверна $t_{\phi} > t_{\text{таб}}$ при $p < 0,05$).

Для определения аллометрической зависимости дополнительно были использованы следующие характеристики: суммарное проективное покрытие и высота травяного покрова. В фитоценозах проективное покрытие составляет более 100,0 % за счет перекрывания листовых пластинок напочвенных растений на разных высотных уровнях. Так, в сосняках наблюдалось наличие более двух ярусов растительности, где их суммарное проективное покрытие составляло 131,4...182,0 %. На участках открытых пространств, наоборот, отмечалось не более двух ярусов (семейства *Poaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae* и др.), с суммарным покрытием 100,2...111,8 %. Взаимосвязь между общим запасом углерода ЖНП и суммарным проективным покрытием не установлена. Следствием этого являются биологические особенности видов, произрастающих в различных местообитаниях. Наиболее тесная корреляция установлена в травяном ярусе между запасом углерода и средней высотой растений ($H_{\text{ср}}$) ($r = 0,87$, корреляция достоверна $t_{\phi} > t_{\text{таб}}$ при $p < 0,05$).

Абсолютные значения запасов углерода ЖНП (0,49...2,46 т С/га) на территории изучаемого опытного объекта сопоставимы с данными из работы [24], фиксируемыми в сосновых культурценозах Полесско-Приднепровского геоботанического района (0,03...3,26 т С/га).

По материалам работы [33], в сосняках зеленомошной группы типов леса запас углерода ЖНП в среднем составляет 3,72 т С/га, что существенно выше полученных нами значений. Информация по запасу углерода мохово-лишайникового яруса идентична: по данным работы [33] — 1,12 т С/га, по нашим данным в сосняке бруснично-зеленомошном (ПП-1) — 1,14 т С/га.

Сосняк бруснично-зеленомошный характеризуется высокой продуктивностью напоч-

венного покрова, прежде всего из-за мохового яруса, доля от всей массы ЖНП которого составляет 73,0 %. В работе [34] в этом же типе леса содержание мха — 84,0 %, это подтверждает мнение некоторых исследователей о более высоких запасах углерода в моховом ярусе бореальных лесов, по сравнению с травяно-кустарничковым ярусом [3, 34]. В условиях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района преобладают разнотравные типы леса, что предопределяет на этой территории доминирование травяного яруса.

Согласно работе [35], объем биомассы напочвенного покрова в фитоценозах Приполярного Урала изменялся от 2,23 до 3,93 т С/га, что выше полученных нами показателей. По данным работы [36], углеродный пул ЖНП в сосняках (заболоченные и болотные земли) варьирует от 0,72 до 1,23 т С/га.

Как следует из литературных источников [23], в сенокосах и пастбищах России общий запас углерода составляет 3,3 т С/га, а в агроценозах — 5,5 т С/га, однако результаты проведенных нами исследований на открытых безлесных участках показали, что запас углерода в ЖНП ниже по сравнению с этими данными, что частично может быть связано с определением запаса только надземной части ЖНП.

Выводы

1. Биомасса ЖНП в сосновых насаждениях различается по типам леса и варьирует в широких пределах в сосновых насаждениях по типам леса — от 0,49 до 2,29 т С/га.

2. Максимальный запас углерода ЖНП установлен на открытых (безлесных) участках по берегам Енисея, в пределах сенокоса, под ЛЭП (от 2,01 до 2,46 т С/га), а также в сосняке папоротниково-крупнотравном (2,29 т С/га). Кроме того, в сосняке бруснично-зеленомошном наблюдается значительное депонирование углерода (1,58 т С/га).

3. В аккумуляцию углерода ЖНП существенный вклад вносит моховой ярус. Так, в сосняке бруснично-зеленомошном доля участия мохового яруса в общем углероде ЖНП составляет 73,0 %, в сосняке грушанково-зеленомошном — 48,0 %, а в сосняке осочково-разнотравном — 34,0 %. Травы доминируют в открытых пространствах и в сосняках (осочково-разнотравных, крупнотравных типов леса) со значительными запасами углерода в ЖНП.

4. Относительную полноту можно использовать как лимитирующий фактор развития ЖНП и, соответственно, переменную для определения в аллометрических уравнениях как абсолютных, так и относительных запасов углерода в ЖНП.

5. Использование конверсионных коэффициентов позволяет спрогнозировать запас углерода ЖНП на основе древесной продуктивности сосняков в различных типах леса.

6. Не выявлено наличие взаимосвязи между общим запасом углерода ЖНП и суммарным проективным покрытием вследствие биологических особенностей видов и условий местопроизрастания.

7. В травяном ярусе наблюдается тесная корреляционная связь между запасом углерода и средней высотой растений.

Исследование проводилось в рамках государственного задания, установленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, для реализации проекта «Динамика восстановления таежных лесов Центральной Сибири, нарушенных энтомофитофагами» (№ FEFE-2024-0029) коллективом научной лаборатории «Лесных экосистем».

Список литературы

- [1] Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Арясов В.Е., Полосухина Д.А., Трусов Д.В. Потоки углерода в подчиненном ярусе леса в сосновых древостоях Центральной Сибири // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН, Москва, 25–29 апреля 2022 года. М.: Изд-во ЦЭПЛ РАН, 2022. С. 243–245.
- [2] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г., Нильсон С. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России // Базовые проблемы перехода к устойчивому лесному хозяйству в России: Материалы Междунар. сем. 6–7 декабря 2007 г. Красноярск: Изд-во ИЛ СО РАН, 2007. С. 7–37.
- [3] Полосухина Д.А., Прокушкин А.С., Масыгина О.В. Биоразнообразие растений нижних ярусов сосновых лесов Средней Сибири // Российская Арктика, 2020. № 2S. С. 44–50. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12115
- [4] Трофимова И.Л. Надземная фитомасса и ее годичная продукция в спелых сосняках Среднего Урала: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2015. 249 с.
- [5] 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.
- [6] Швиденко А.З., Шепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал, 2014. № 1. С. 69–92.
- [7] Пристова Т.А., Манов А.В., Загирова С.В. Оценка запасов органического вещества напочвенного покрова и подстилки в еловых и березовых фитоценозах на Приполярном Урале // Растительные ресурсы, 2016. Т. 52. № 2. С. 282–294.
- [8] Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Масыгина О.В. Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны Средней Сибири // Сибирский экологический журнал, 2006. № 2. С. 131–139.
- [9] Запрудина М.В. Фитомасса травяно-кустарничкового и мохового ярусов темнохвойных лесов Печоро-Ильчского заповедника // Известия Самарского НЦ РАН, 2010. Т. 12. № 1 (3). С. 876–879.
- [10] Грозовская И.С., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э., Бобровский М.В., Романов М.С., Глухова Е.М. Биомасса напочвенного покрова в еловых лесах Костромской области // Лесоведение, 2015. № 1. С. 63–76.
- [11] Ivanov V.A., Ivanova G.A., Kovaleva N.M. Post-fire succession in scots pine forests of southern taiga Central Siberia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reshetnev Readings 2018, 2020, p. 012012.
- [12] Hollands C., Shannon V.L., Sawicka K., Vanguelova E.I., Benham S.E., Shaw L.J., Clark J.M. Management impacts on the dissolved organic carbon release from deadwood, ground vegetation and the forest floor in a temperate Oak woodland // Science of The Total Environment, 2022, v. 805, no. 150399. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.150399
- [13] Gogoi A., Ahirwal J., Sahoo U.K. Plant biodiversity and carbon sequestration potential of the planted forest in Brahmaputra flood plains // J. of Environmental Management, 2021, v. 280, no. 111671. DOI:10.1016/j.jenvman.2020.111671
- [14] Kosykh N.P., Koronotova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K., Ivchenko T.G., Kurbatskaya S.S., Peregon A.M. The Bogs in a Forest-Steppe Region of Western Siberia: Plant Biomass and Net Primary Production (NPP) // Water, 2023, v. 15, no. 20 (3526).
- [15] Chu Y., He W.M., Liu H.D., Liu J., Zhu X.W., Dong M. Phytomass and plant functional diversity in early restoration of the degraded, semi-arid grasslands in northern China // J. of arid environments, 2006, v. 67, no. 4, pp. 678–687.
- [16] Shomurov K.F., Rakhimova N.K., Saitjanova U.S., Zhenyong Z. The Ecological-Phytocenotic Characteristics of *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb. Grasslands on the Ustyurt Plateau in Karakalpakstan // Arid Ecosystems, 2023, v. 13, no. 4, pp. 507–517.
- [17] Сергиенко В.Г. Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2018. № 1. С. 74–90. DOI 10.21178/2079–6080.2018.1.74
- [18] Havas P., Kubin E. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland // Ann. Bot. Fennici, 1983, v. 20, no. 2, pp. 115–149.
- [19] Mälikönen E. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Helsinki: Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 1977, v. 91, no. 5, pp. 1–35.
- [20] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Залесова Е.С., Мажумова А.Г., Осипенко Р.А. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2020. 90 с.
- [21] Кошурникова Н.Н., Панов А.В., Гаек А.О. Продукция мохового яруса в темнохвойных лесах Кеть-Чулымского междуречья // Лесоведение, 2008. № 3. С. 70–75.

- [22] Кошурникова Н.Н., Верховец С.В. Продукция углерода фитомассы в южно-таежных темнохвойных лесах Западной Сибири (Кеть-Чулымский лесорастительный округ) // Растительные ресурсы, 2011. Т. 47. № 3. С. 8–21.
- [23] Титлянова А.А., Кудряшова С.Я., Косых Н.П., Шибарева С.В. Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории Южной Сибири // Почвоведение, 2005. № 10. С. 1240–1250.
- [24] Никитин А.Н. Накопление углерода в биомассе сосновых культурценозов // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1. Лесное хозяйство, 2003. № 11. С. 95–97.
- [25] Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения 17.03.2024).
- [26] Голуб В.Б., Николайчук Л.Ф., Л.Г. Раменский и аллометрия растений (история и современное состояние проблемы) // Разнообразие растительного мира, 2021. № 1 (8). С. 30–50.
- [27] Пристова Т.А., Федорков А.Л. Фитомасса растений напочвенного покрова в экспериментальных культурах сосны скрученной в Краснозатонском лесничестве республики Коми // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием, Киров, 03–05 декабря 2018 года. Т. 2. Киров: Изд-во ВятГУ, 2018. С. 81–84.
- [28] Беглянова М.И., Васильева Е.М., Кашина Л.И. Определитель растений юга Красноярского края / под ред. И.М. Красноборова, Л.И. Кашиной. Новосибирск: Наука, 1979. 670 с.
- [29] Стаканов В.Д., Алексеев В.А., Коротков И.А., Климушин Б.Л. Методика определения запасов фитомассы и углерода лесных сообществ // Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Изд-во Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. С. 48–69.
- [30] Составление углеродного баланса лесов Республики Беларусь на основании значений коэффициентов выбросов/поглощения диоксида углерода от надземной фитомассы, подготовка прогноза увеличения поглощения выбросов парниковых газов лесами до 2030 и до 2050 годов, подготовка перечня мероприятий по увеличению поглощения парниковых газов в лесном хозяйстве: отчет. Минск, 2017. 65 с. URL: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Pogloschenieparnikovyx-gazov.pdf>. (дата обращения 10.03.2024).
- [31] Артемьева И.Н. Пространственное распределение, фитомасса и годичная продукция нижних ярусов растительности в северотаежных сосняках лишайниковых ХМАО-Югры: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2022. 188 с.
- [32] Лебедев А.В. Ландшафтная таксация и инвентаризация насаждений. М.: Изд-во МЭСХ, 2022. 148 с.
- [33] Трефилова О.В., Ведрова Э.Ф., Кузьмичев В.В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках Енисейской равнины // Лесоведение, 2011. № 1. С. 3–12.
- [34] Аткина Л.И., Бугакова Т.М. Масса мохового яруса и его микробиологическая активность в сосновых лесах Нижнего Приангарья // Леса Урала и хозяйство в них, 2002. № 22. С. 46–51.
- [35] 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.
- [36] Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Блойтен В. Биологическая продуктивность и углеродный пул фитомассы лесных болот Западной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2005. Т. 12. № 1. С. 29–44.

Сведения об авторах

Мамедова Севинч Кямилъ-кызы✉ — аспирант, мл. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), mamedova_seva@mail.ru

Вайс Андрей Андреевич — д-р. с.-х. наук, профессор, вед. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), vais6365@mail.ru

Мельник Александра Игоревна — аспирант, мл. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), aleksandrana2013@gmail.com

Михайлов Павел Владимирович — канд. с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой лесоводства, охраны и защиты леса, вед. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), mihaylov.p.v@mail.ru

Неповинных Артем Геннадьевич — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва» (СибГУ), artixz@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.04.2023.

Одобрено после рецензирования 28.12.2023.

Принята к публикации 04.10.2024.

GROUND VEGETATION CARBON STOCK IN KRASNOYARSK SUBURBAN TERRITORIES

S.K. Mamedova✉, A.A. Vais, A.I. Melnik,
P.V. Mikhaylov, A.G. Nepovinnikh

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, the av. named after the newspaper
«Krasnoyarskiy rabochiy», 660037, Krasnoyarsk, Russia

mamedova_ceva@mail.ru

The comparative analysis of ground vegetation carbon stock between plots with different forest conditions, located in the experimental area of the Karaulnyi district forestry in the Krasnoyarsk suburban zone is given. It was found that the maximum accumulation of carbon stocks of living ground cover is confined to open (non-forested) plots, in the ferny pine forests. Significant carbon sequestration was noted in the lingonberry-green-moss pine forest, as the moss layer makes a significant contribution to the accumulation of carbon in the living ground cover. A close relationship between relative completeness and conversion factors was established for sites with different forest conditions.

Keywords: ground vegetation, carbon stock, conversion coefficients, forest type

Suggested citation: Mamedova S.K., Vais A.A., Mel'nik A.I., Mikhaylov P.V., Nepovinnikh A.G. *Uglerodnyy pul zhivogo napochvennogo pokrova prigorodnykh territoriy Krasnoyarska* [Ground vegetation carbon stock in Krasnoyarsk suburban territories]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 40–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2025-3-40-51

References

- [1] Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Aryasov V.E., Polosukhina D.A., Trusov D.V. *Potoki ugleroda v podchinennom yaruse lesa v sosnovykh drevostoyakh Tsentral'noy Sibiri* [Carbon pools in co-dominant forest layer in pine stands of Central Siberia]. *Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 30-letiyu TsEPL RAN* [Scientific background for sustainable forest management: collection of scientific papers]. Moscow, April 25–29 2022, Moscow: Tsentr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN, 2022, pp. 243–245.
- [2] Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G., Nil'son S. *Materialy k poznaniyu sovremennoy produktivnosti lesnykh ekosistem Rossii* [Materials to the knowledge of modern productivity of forest ecosystems of Russia]. *Bazovye problemy perekhoda k ustoychivomu lesnomu khozyaystvu v Rossii: mater. Mezhdunarodnogo seminar* [Basic problems of transition to sustainable forestry in Russia: Materials. Intern. Semin.]. Krasnoyarsk, 6–7 December 2007. Krasnoyarsk: IL SO RAN [The Institute of forest V.N. Sukachev Siberian branch RAS], 2007, pp. 7–37.
- [3] Polosukhina D.A., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. *Bioraznoolozheniye rasteniy nizhnikh yarusov sosnovykh lesov Sredney Sibiri* [Biodiversity of lower layers vegetation in pine forests of Central Siberia]. *Rossiyskaya Arktika* [Russian Arctic], 2020, no. 2S, pp. 44–50. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12115
- [4] Trofimova I.L. *Nadzemnaya fitomassa i ee godichnaya produktsiya v spelykh sosnyakh Srednego Urala* [Above-ground biomass and its annual production in mature pine stands in Central Urals]. *Dis. Cand. Sci. (Agric.)*. Yekaterinburg, 2015, 249 p.
- [5] 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 above ground vegetation in spruce forests growing in Northeastern European Russia]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2012, v. 48, no. 1, pp. 44–50.
- [6] Shvidenko A.Z., Shepashchenko D.G. *Uglerodnyy byudzhel lesov Rossii* [The Carbon Budget of Russian Forests]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014, no. 1, pp. 69–92.
- [7] Pristova T.A., Manov A.V., Zagirova S.V. *Otsenka zapasov organicheskogo veshchestva napochvennogo pokrova i podstilki v elovykh i berezovykh fitotsenozakh na Pripolyarnom Urale* [Assessment of ground vegetation organic matter pool in forest floor of spruce and birch forests in the Subpolar Urals]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2016, v. 52, no. 2, pp. 282–294.
- [8] Prokushkin S.G., Abaimov A.P., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. *Biomassa napochvennogo pokrova i podleska v listvennichnykh lesakh kriolitozony Sredney Sibiri* [Ground vegetation and understory biomass in larch forests growing in permafrost zone of Central Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian ecological journal], 2006, no. 2, pp. 131–139.
- [9] Zaprudina M.V. *Fitomassa travyano-kustarnichkovogo i mokhovogo yarusov temnokhvoynykh lesov Pechoro-Ilychskogo zapovednika* [Phytomass of herb/shrub and moss layers in dark coniferous tall-grasses forests of the Pechora-Ilych Nature Reserve]. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Bulletin of the Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, v. 12, no. 1 (3), pp. 876–879.
- [10] Grozovskaya I.S., Khanina L.G., Smirnov V.E., Bobrovskiy M.V., Romanov M.S., Glukhova E.M. *Biomassa napochvennogo pokrova v elovykh lesakh Kostromskoy oblasti* [Biomass of soil cover in spruce forests of Kostroma region]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2015, no. 1, pp. 63–76.

- [11] Ivanov V.A., Ivanova G.A., Kovaleva N.M. Post-fire succession in scots pine forests of southern taiga Central Siberia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Reshetnev Readings 2018, 2020, p. 012012.
- [12] Hollands C., Shannon V.L., Sawicka K., Vangelova E.I., Benham S.E., Shaw L.J., Clark J.M. Management impacts on the dissolved organic carbon release from deadwood, ground vegetation and the forest floor in a temperate Oak woodland. Science of The Total Environment, 2022, v. 805, no. 150399. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.150399
- [13] Gogoi A., Ahirwal J., Sahoo U.K. Plant biodiversity and carbon sequestration potential of the planted forest in Brahmaputra flood plains. J. of Environmental Management, 2021, v. 280, no. 111671. DOI:10.1016/j.jenvman.2020.111671
- [14] Kosykh N.P., Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Vishnyakova E.K., Ivchenko T.G., Kurbatskaya S.S., Peregon A.M. The Bogs in a Forest–Steppe Region of Western Siberia: Plant Biomass and Net Primary Production (NPP). Water, 2023, v. 15, no. 20 (3526).
- [15] Chu Y., He W.M., Liu H.D., Liu J., Zhu X.W., Dong M. Phytomass and plant functional diversity in early restoration of the degraded, semi-arid grasslands in northern China. J. of arid environments, 2006, v. 67, no. 4, pp. 678–687.
- [16] Shomurov K.F., Rakhimova N.K., Saitjanova U.S., Zhenyong Z. The Ecological–Phytocenotic Characteristics of *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb. Grasslands on the Ustyurt Plateau in Karakalpakstan. Arid Ecosystems, 2023, v. 13, no. 4, pp. 507–517.
- [17] Sergienko V.G. *Vliyaniye ozhidaemogo izmeneniya klimata na balans ugleroda i produktivnost' ekosistem v lesnom sektore Rossiyskoy Federatsii* [On the assumed impact of climate change on Russian forests]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2018, no. 1, pp. 74–90. DOI 10.21178/2079–6080.2018.1.74
- [18] Havas P., Kubin E. Structure, growth and organic matter content in the vegetation cover of an old spruce forest in Northern Finland. Ann. Bot. Fennici, 1983, v. 20, no. 2, pp. 115–149.
- [19] Mälikönen E. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. Helsinki: Communicationes Instituti Forestalis Fenniae, 1977, v. 91, no. 5, pp. 1–35.
- [20] Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Magasumova A.G., Osipenko R.A. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of phytomonitoring]. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2020, 90 p.
- [21] Koshurnikova N.N., Panov A.V., Gaek A.O. *Produktsiya mokhovogo yarusa v temnokhvoynykh lesakh Ket'-Chulymskogo mezhdurech'ya* [Production of the Moss Layer in Dark Coniferous Forests of the Ket'-Chulym Interfluv]. Lesovedenie [Contemporary Problems of Ecology], 2008, no. 3, pp. 70–75.
- [22] Koshurnikova H.N., Verkhovets S.V. *Produktsiya ugleroda fitomassy v yuzhno-taizhnykh temnokhvoynykh lesakh Zapadnoy Sibiri (Ket'-Chulymskiy lesorastitel'nyy okrug)* [Production Of Phytomass Carbon In The South Taiga Dark Coniferous Forest Of The Western Siberia (Ket'-Chulym Forest District)]. Rastitel'nye resursy [Rastitel'nye resursy], 2011, v. 47, no. 3, pp. 8–21.
- [23] Titlyanova A.A., Kudryashova S.Ya., Kosykh N.P., Shibareva S.V. *Biologicheskiy krugovorot ugleroda i ego izmenenie pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka na territorii Yuzhnoy Sibiri* [Biological carbon cycle and its change under human activities in the Southern Siberia]. Pochvovedenie [Soil Science], 2005, no. 10, pp. 1240–1250.
- [24] Nikitin A.N. *Nakopleniye ugleroda v biomasse sosnovykh kul'turtnozov* [Carbon accumulation in the biomass of pine plantations]. Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1. Lesnoe khozyaystvo [Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 1. Forestry], 2003, no. 11, pp. 95–97.
- [25] *Prikaz Minprirody Rossii ot 18.08.2014 № 367 «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated August 18, 2014 no. 367 On Approval of the List of Forest Site Zones of the Russian Federation and the List of Forest Districts of the Russian Federation]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 17.03.2024).
- [26] Golub V.B., Nikolaychuk L.F. *L.G. Ramenskiy i allometriya rasteniy (istoriya i sovremennoe sostoyaniye problemy)* [L.G. Ramensky and allometry of plants (history and current state of the problem)]. Raznoobrazie rastitel'nogo mira [Diversity of plant world], 2021, no. 1 (8), pp. 30–50.
- [27] Pristova T.A., Fedorkov A.L. *Fitomassa rasteniy napochvennogo pokrova v eksperimental'nykh kul'turakh sosny skrushennoy v Krasnozaton'skom lesnichestve respubliki Komi* [Ground vegetation phytomass in experimental cultures of lodgepole pine in Krasnozaton forestry of the Komi Republic]. Biodiagnostika sostoyaniya prirodnnykh i prirodno-tekhnogennykh sistem: Materialy KhVI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Kirov, 3–5 December 2018. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2018, v. 2, pp. 81–84.
- [28] Beglyanova M.I., Vasil'eva E.M., Kashina L.I. *Opredelitel' rasteniy yuga Krasnoyarskogo kraya* [Plant Identifier for the south of Krasnoyarsk Krai]. Novosibirsk: Science. Siberian branch, 1979, 670 p.
- [29] Stakanov V.D., Alekseev V.A., Korotkov I.A., Klimushin B.L. *Metodika opredeleniya zapasov fitomassy i ugleroda lesnykh soobshchestv* [Methods for assessing phytomass and carbon pools in forest communities]. Uglerod v ekosistemakh lesov i bolot Rossii [Carbon in forest and swamp ecosystems in Russia]. Krasnoyarsk: Sukachev Institute of Forest SB RAS, 1994, pp. 48–69.
- [30] *Sostavleniye uglerodnogo balansa lesov Respubliki Belarus' na osnovanii znacheniy koeffitsientov vybrosov/pogloshcheniya dioksida ugleroda ot nadzemnoy fitomassy, podgotovka prognoza uvelicheniya pogloshcheniya vybrosov parnikovyykh gazov lesami do 2030 i do 2050 godov, podgotovka perechnya meropriyatiy po uvelicheniyu pogloshcheniya parnikovyykh gazov v lesnom khozyaystve: otchet* [Compilation of the carbon balance of forests in the Republic of Belarus based on the values of the emission / absorption factors of carbon dioxide from the aboveground phytomass, preparation of a forecast for the increase in absorption of greenhouse gas emissions by forests until 2030 and until 2050, preparation of a list of measures to increase the absorption of greenhouse gases in forestry], 2017, 65 p. Available at: <http://minpriroda.gov.by/uploads/files/Pogloschenieparnikovyyx-gazov.pdf> (accessed 10.03.2024).

- [31] Artem'eva I.N. *Prostranstvennoe raspredelenie, fitomassa i godichnaya produktsiya nizhnikh yarusev rastitel'nosti v severotaezhnykh sosnyakakh lishaynikovyykh KhMAO-Yugry* [Spatial distribution, phytomass and annual production of the lower vegetation layers in the northern taiga lichen pine forests of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra]. Dis. Cand. Sci. (Agric.). Yekaterinburg, 2022, 188 p.
- [32] Lebedev A.V. *Landshaftnaya taksatsiya i inventarizatsiya nasazhdeniy* [Landscape-based forest inventory]. Moscow: Russian State Agricultural University, 2022, 148 p.
- [33] Trefilova O.V., Vedrova E.F., Kuz'michev V.V. *Godichnyy tsikl ugleroda v zelenomoshnykh sosnyakakh Eniseyskoy ravniny* [The Annual Carbon Cycle in Green-Moss Pine Forests of the Yenisey Plain]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2011, no. 1, pp. 3–12.
- [34] Atkina L.I., Bugakova T.M. *Massa mokhovogo yarusa i ego mikrobiologicheskaya aktivnost' v sosnyakh lesakh Nizhnego Priangara* [Moss layer biomass and its microbiological activity in the pine forests of the Lower Angara region]. *Lesa Urala i khozyaystvo v nikh* [Ural forests and their management], 2002, no. 22, pp. 46–51.
- [35] Pristova T.A., Zagirova S.V., Manov A.V. *Produktsiya organicheskogo veshchestva i akkumulyatsiya ugleroda v napochvennom pokrove elovykh i berezovykh fitotsenozov v predgor'yakh Pripolyarnogo Urala* [Organic matter production and carbon stock in the ground vegetation of spruce and birch forests in the foothills of the Subpolar Urals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2018, no. 2, pp. 53–61.
- [36] Efremov S.P., Efremova T.T., Bloyten V. *Biologicheskaya produktivnost' i uglerodnyy pul fitomassy lesnykh bolot Zapadnoy Sibiri* [Biological productivity and carbon pool of forest swamps in Western Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian ecological journal], 2005, v. 12, no. 1, pp. 29–44.

The study was conducted within the framework of the state assignment established by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the project «Dynamics of restoration of taiga forests of Central Siberia disturbed by entomological pests» (No. FEFE-2024-0029) by the team of the scientific laboratory «Forest Ecosystems».

Authors' information

Mamedova Sevinch Kyamil'-kyzy✉ — pg., Junior researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, mamedova_ceva@mail.ru

Vais Andrey Andreevich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Forest Inventory, Forest Management and Geodesy, leading researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, vais6365@mail.ru

Mel'nik Aleksandra Igorevna — pg., Junior researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, aleksandrana2013@gmail.com

Mikhaylov Pavel Vladimirovich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forestry, Forest Protection and Forest Health, leading researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, mihaylov.p.v@mail.ru

Nepovinnikh Artem Gennad'evich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, artixz@yandex.ru

Received 14.04.2023.

Approved after review 28.12.2023.

Accepted for publication 04.10.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest