

PHYTOMASS CARBON POOLS OF KOIVULAMBISUO MIRE SYSTEM (SOUTH KARELIA)

*Kutenkov S.A.**, *Kuznetsov O.L.*, *Kantserova L.V.*, *Mironov V.L.*, *Ignashov P.A.*,
Talbonen E.L., *Vasyuta V.S.*

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск

**effort@krc.karelia.ru*

Citation: Kutenkov S.A., Kuznetsov O.L., Kantserova L.V., Mironov V.L., Ignashov P.A., Talbonen E.L., Vasyuta V.S. 2024. Phytomass carbon pools of Koivulambisuo mire system (South Karelia). *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 15(1): 68-73.

DOI: 10.18822/edgcc635207

Для трех типов болотных участков среднетаежной подзоны Карелии: аапа, верховых сфагновых грядово-мочажинных и верховых сосново-кустарничково-пушицево-сфагновых определены запас и первичная годовичная аккумуляция углерода в фитомассе.

Ключевые слова: Средняя тайга, болотные участки, фитомасса, запас углерода, годовичная продукция

Koivulambisuo mire system (61,80° N, 33,56° E, middle taiga subzone) has a complex structure of vegetation cover, includes south Karelian variant of aapa mires, raised bogs, transitional herb-sphagnum fens and forested sites of different trophic levels. The study was carried out within the framework of the National system for monitoring carbon pools and greenhouse gas fluxes in Russia. Phytomass and carbon pools were determined for three types of mire sites: aapa, ridge-hollow sphagnum bog and oligotrophic pine-dwarf shrub-cotton grass-sphagnum.

On each type of mire sites, 3 sample plots 50x50 m in size with 8–12 sampling points were set up. Tree stand was estimated by the total count and basic measurements of all standing trees on plots, whereas production of needles and branches was defined by the model tree method. The phytomass material of the above-ground vascular plants was collected by the cutting method. The collection of mosses and underground phytomass was done by monoliths method. The production of sphagnum mosses was estimated by annual increment method.

Aapa mire is extremely poorly afforested, to the least extent among the studied sites, due to strong watering and poor development of strings. The total carbon pool in a forest stand is only 0.01 tC/ha. The carbon pool in the above-ground phytomass of aapa complexes is also minimal – 2.56 tC/ha. It is mainly provided by sphagnum mosses, while herbs and shrubs contain half as much carbon in total. Living underground phytomass deposits 21.56 tC/ha (89% of the total phytomass). Such a high carbon sequestration by living underground plant organs is a feature of aapa sites and is associated with favorable regime of water movement. Some overestimation is also possible due to the difficulty of separating living and dead tightly intertwined roots. The mortmass of a 40 cm surface layer of peat soil contains 38.71 tC/ha, most of it in the sphagnum remains. The annual ground cover production of aapa is minimal: 1.55 tC/ha, which is caused by the development of extensive flarks with sparse vegetation cover. Unlike other sites, the role of vascular plants is higher here (0.68 tC/ha) due to the predominance of herbaceous plants in cover.

The afforestation degree of ridge-hollow bogs varies; the living forest stand of the most afforested sites is contains 0.31 tC/ha, while in the other two, more watered sites, the pool is less than 0.02 tC/ha. The average carbon stock in a tree stand is 0.11 tC/ha. The carbon pool in the ground cover of the ridge-hollow bogs is maximum among the studied mire sites (4.25 tC/ha), the main share in it is sphagnum mosses (3.52 tC/ha), while grasses and shrubs 0.73 tC/ha. Living underground phytomass deposits 8.62 tC/ha (66% of the total phytomass). The mortmass of a 40 cm surface layer of peat soil contains, on average, 61.77 tC/ha, most of it in the sphagnum remnants. In cotton grass-sphagnum hollows the stock reaches 80.09 tC/ha due to dense cotton grass tussocks. The above-ground vascular plants annual production is 0.48 tC/ha (the minimum among the studied mire site types) and 1.56 tC/ha by mosses.

Pine-dwarf shrub-cotton grass-sphagnum plots have the most developed forest stands among the studied mire sites. The average tree height here is 1-2 m, whereas individual trees reach a 5-6 m. The carbon pool in the living tree stand and the dead wood is 2.92 tC/ha and 1.66 tC/ha, respectively. In addition, the forest stand contribution to the total living phytomass carbon stock is maximum and equal to moss stock. The ground cover deposits 4.46 tC/ha, besides sphagnum mosses (2.9 tC/ha), a significant stock in dwarf shrubs (1.11 tC/ha). Living underground phytomass deposits 9.04 tC/ha (56% of the total phytomass). The mortmass of a 40 cm surface layer of peat soil contains 63.43 tC/ha. The total contribution of pine needles and branches to the annual production is 0.04 tC/ha. The above-ground phytomass here also demonstrates the maximum annual production – 2.21 tC/ha per year, mainly provided by sphagnum mosses (1.64 tC/ha).

In general, the main living phytomass carbon pools of mire sites are concentrated in the underground parts of vascular plants. The ground cover main stock is in sphagnum mosses. Significant carbon stock in the tree stands only

has pine-cotton grass-dwarf shrub-sphagnum sites, where it equal to the carbon stock of mosses. In all types of sites, carbon pool in the mortmass of the upper 40 cm of the deposit are noticeably higher than the total reserves in living phytomass. The main part of the mortmass consists of the sphagnum mosses remains. Mosses are also characterized by the largest primary annual production of carbon.

Key words: Middle taiga subzone, mire sites, phytomass, carbon stock, annual production

Принятые сокращения и обозначения

БГЦ – биогеоценоз, согласно [Metodicheskie..., 2023]
ГМК – верховые грядово-мочажинные комплексы
ГП – годовичная продукция
ПП – пробная площадь 50x50 м
СКС – верховые сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые участки
ТКЯ – травяно-кустарничковый ярус
ТО – точка отбора 40x40 см

ВВЕДЕНИЕ

Бореальные болота играют важную роль в углеродном цикле, являясь эффективным поглотителем CO₂ и представляя собой один из крупнейших резервуаров углерода. Основной причиной этого является небольшое положительное соотношение между фотосинтетической фиксацией CO₂ из атмосферы растениями и последующим возвратом в нее CO₂, выдыхаемого растениями и образующегося в результате деятельности микроорганизмов и грибов. Считается, что в глобальном масштабе до 10% органического материала переходит в торф и удерживается в нем на тысячелетия [Joosten, Clarke, 2002]. Однако, на локальном уровне, в зависимости от конкретных условий среды, разные типы болот могут как накапливать, так и активно терять углерод [Pyasov et al., 2023]. Исходным звеном в накоплении углерода болотами являются растения, и объективная оценка запасов углерода требует изучения растительного покрова на болотных участках с различающимися экологическими условиями. Исследования фитомассы различных типов болотных участков ранее проводились в Карелии [Elina et al., 1984], однако содержание углерода в них не оценивалось. В этой связи здесь мы ставим целью оценить запасы и первичную годовичную продукцию углерода в фитомассе трех контрастных типов болотных участков среднетаежной подзоны Карелии: аапа, верховых сфагновых грядово-мочажинных и верховых сосново-кустарничково-пушицево-сфагновых. Данные были получены лабораторией болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН в 2023 году в рамках работы по проекту «Оценка пулов углерода в болотных экосистемах и агроландшафтах Республики Карелия, создание мониторинговой системы для измерения потоков углерода в агроландшафтах региона» в пределах модельной болотной системы Койвуламбисуо (южная Карелия).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследований. Болотная система Койвуламбисуо площадью 1875 га (61,80° с.ш., 33,56° в.д., подзона средней тайги) входит в состав лесоболотного научного стационара Карельского научного центра РАН «Киндасово» и охраняется в ранге регионального болотного заказника. Она состоит из двух слившихся болот – Неназванное и Мустусуо, имеет сложную структуру растительного покрова и включает болотные массивы южнокарельского варианта аапа болот, грядово-мочажинные верховые массивы, а также переходные травяно-сфагновые и облесенные участки разной трофности [Elina, 1977; Elina et al., 2005].

Кочковато-грядово-топяные мезоевтрофные аапа комплексы приурочены к транзитной топи болота Неназванное шириной до 0,4 км, простирающейся с севера на юг на 1,6 км. Сфагновые кочки диаметром 1–5 метров занимают 20–30%, состоят преимущественно из *Sphagnum papillosum*, реже *S. angustifolium*, *S. divinum*. Преобладают топяные участки с редким травяным ярусом, иногда также гипновыми мхами (*Scorpidium scorpioides*, *Warnstorfia exannulata*) и слоем воды 10–50 см. В ТКЯ аапа комплексов преобладают *Andromeda polifolia*, *Carex lasiocarpa*, *C. limosa*, *Menyanthes trifoliata*, *Rhynchospora alba*, *Scheuchzeria palustris*, *Trichophorum alpinum*, *Utricularia intermedia*.

ГМК представлены на массивах по восточному краю болота Неназванное и на болоте Мустусуо. Они относятся к среднекарельскому типу верховых болот [Yurkovskaya, 1992] и несколько

различаются между собой по степени развитости и увлажнения мочажин. На болоте Неназванное мочажинны менее обводненные пушицево-сфагновые (*Eriophorum vaginatum*–*Sphagnum balticum*), на Мустусуо представлены также и более обводненные шейхцериево-сфагновые (*Scheuchzeria palustris*–*Sphagnum majus*) мочажинны. Гряды в обоих случаях кустарничково-сфагновые (*Sphagnum fuscum*). Оба типа комплексов характерны для верховых болот среднетаежной Карелии.

СКС приурочены к окрайкам болот Неназванное и Мустусуо. Они имеют сосновые древостои высотой до 4, реже до 7 метров с сомкнутостью до 0,3. Напочвенный покров дифференцирован слабо, на более сухих приствольных повышениях выше роль *Sphagnum fuscum* и кустарничков, в понижениях – *S. angustifolium* и пушицы.

Краткая характеристика погодных условий. Среднегодовое количество атмосферных осадков 565 мм, среднегодовая температура воздуха +2,7 °С. Период вегетации 2023 года, во время которого проводилось исследование, характеризовался умеренной температурой воздуха и обилием атмосферных осадков. Согласно данным ближайшей к месту исследования метеостанции Петрозаводск (расстояние до исследуемых болот – 35 км), за временной интервал с 1 мая по 31 октября, примерно соответствующий периоду вегетации, средняя температура воздуха составила 12,1°С, общее количество осадков – 496 мм, число дней с осадками – 118.

Методика исследования. Исследования велись в соответствии с [Metodicheskie..., 2023]. В каждом типе БГЦ заложено по 3 ПП размером 50 × 50 м, в сумме 9 ПП.

Изучение фитомассы древесного яруса. При плотности <500 деревьев/га проведен полный учет всех побегов древесных растений на ПП, при большей – на учетных площадках 10 × 10 м в 2-4 углах ПП. Отмечены порода, жизненное состояние, высота (Н) и диаметр ствола (g). Для расчета объема стволов (V) деревьев ниже 260 см использована простая формула срединного сечения Губера $V = g/2 \cdot H$. Для более высоких деревьев проведена корректировка с использованием видового числа f: $V = f \cdot g/2 \cdot H$; $f = 1/2 \cdot (1 - 1,3/H)$ [Baginskiy, 2018]. Значения объемного веса абсолютно сухой древесины сосны принято за 0,47 г/см³. Для расчета нестволовой фитомассы использовано соотношение из таблиц [Kazimirov, 1995] по Va бонитету. На 4 ПП с более развитым древостоем проведен отбор фитомассы сосны. Модельные деревья определялись как средние по размерам в каждой угловой площадке 10 × 10 м на ПП. С каждого дерева отбиралась одна средняя ветвь, которая разделялась на хвою/ветки текущего года, 2 предыдущих лет и остальные. Для фракций определен абсолютно сухой вес и содержание углерода (С). ГП определена на основе общей расчетной фитомассы хвои и веток и пропорций, полученных на модельных деревьях.

Изучение надземной фитомассы и ГП ТКЯ. Надземная фитомасса отобрана методом укусов с ТО. Число ТО на ПП варьировало от 8 до 12, в зависимости от степени однородности растительного покрова. На грядах и кочках закладывалось по 5 ТО, на пониженных элементах – 3-7. В сумме получены укусы с 84 ТО. В ходе камеральной обработки срезанные растения сортировались по видам или группам видов. Кустарнички разделялись на прирост текущего года, листья и стебли. Проведена сушка при 60 °С, взвешивание, объединение образцов по фракциям для каждой ПП, определение содержания С. ГП надземной части трав принята за 100% их фитомассы. ГП кустарничков отделялась в процессе разборки образцов фитомассы.

Определение ГП сфагновых мхов проведено на основе данных о линейном приросте и плотности ковра 23 ценопопуляций доминирующих на ПП сфагнов. Прирост оценен методами перевязок, геотропических изгибов и ёршиков [Mironov et al., 2023]. Для кочек и гряд использовались одновременно все три метода, в мочажинах – методы перевязок и геотропических изгибов. Для оценки продуктивности приростов побегов после измерений проведено определение абсолютно сухого веса и содержания С. Оценка плотности сфагнового покрова проводилась рядом с местами измерения прироста на площадках 10 × 10 см в трехкратной повторности. Для оценки ГП сфагнового покрова средняя масса прироста одного побега умножалась на плотность сфагновой дернины.

Изучение подземной фитомассы. На тех же ТО, где и надземная, была отборана подземная фитомасса. Отбор проведен методом монолитов 10 × 10 см на глубину до 40 см слоями по 10 см, всего получено от 32 до 48 образцов на каждой ПП, общее число составляет 336 образцов. При отборе монолитов замерялась толщина живой (фотосинтезирующей) части сфагновых мхов, что в дальнейшем позволило по пропорции рассчитать ее массу. В камеральных условиях проведен разбор монолитов на фракции: живые/мертвые подземные части сосудистых растений (корни, корневища, узлы кущения и т.д.), очес (остатки мхов), опад и мортмасса. Анализ проведен аналогично указанному для надземной фитомассы. ГП подземной фитомассы не оценивалась.

Таксация элементов микрорельефа проведена по всему 200 м периметру каждой ПП, на ее основе получено соотношение элементов и соответствующих им растительных сообществ, проведено итоговое взвешивание данных.

Определение С в образцах проведено на анализаторе CN802 VELP Scientifica в ЦКП КарНЦ РАН. Всего 287 образцов: 136 фракций подземной фитомассы, 79 надземной фитомассы, 48 приростов сфагновых мхов, 24 сосны, часть из них в двойной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Аапа участки облесены крайне слабо, в наименьшей степени среди исследованных БГЦ, в связи с сильным обводнением и слабым развитием гряд. Суммарный пул углерода в древостое в среднем составляет 0,01 тС/га или 0,04% от всего пула живой фитомассы БГЦ (табл.). Запас углерода в наземной фитомассе аапа комплексов также минимален – 2,56 тС/га, в особенности в мочажинах – 1,92 тС/га, тогда как на грядах он сопоставим с повышенными элементами других БГЦ (3,44 тС/га). В основном он обеспечивается сфагновыми мхами (6,4%), тогда как в травах и кустарничках суммарно содержится заметно меньше углерода (2,7%).

В живой подземной фитомассе 40 см слоя залежи гряд депонировано 11,07 тС/га, мочажин – 29,16 тС/га, в целом, 21,56 тС/га (89,4% от всей фитомассы БГЦ). Столь высокий запас углерода в живых подземных органах растений является особенностью аапа участков и связано с хорошей проточностью. Возможно также некоторое завышение, связанное со сложностью разделения живых и отмерших плотно переплетенных корней. В мортмассе 40 см слоя залежи содержится 38,71 тС/га, большая часть в остатках мхов. Еще одно отличие аапа – большой объем сильно разложенной неопределяемой при разборе мортмассы.

ГП наземного покрова аапа минимальна: 1,66 тС/га что связано с развитием обширных топей с разреженным растительным покровом. В сравнении с другими БГЦ здесь выше роль сосудистых растений (0,63 тС/га) за счет преобладания травянистых растений в ТКЯ.

ГМК. Облесенность участков значительно варьирует, что отражается на общем пуле углерода в фитомассе сосны. На наиболее облесенной из ПП надземная живая фитомасса древостоя содержит 0,31 тС/га, на двух других, более обводненных ГМК, запас менее 0,02 тС/га. В сухостое, соответственно 0,19 тС/га и менее 0,01. Среднее содержание углерода в живом древостое составляет 0,11 тС/га (0,8% от всего пула в живой фитомассе). В ГМК пул углерода в наземном покрове максимален среди исследованных БГЦ (4,2 тС/га), основную долю в нем имеют сфагновые мхи (3,5 тС/га, или 27,1%), в травах и кустарничках 0,7 тС/га или 5,6%. При этом в мочажинах за счет большей живой фитомассы сфагнов общий запас в 1,5 раза выше, чем на грядах.

В подземной фитомассе содержится в среднем 8,6 тС/га (66,4%), при этом в грядах содержание значительно выше (11,4 тС/га), чем в мочажинах (3,9-7,1 тС/га) за счет корней и погруженных в сфагновый покров стеблей кустарничков. В мортмассе 40 см слоя залежи содержится, в среднем, 61,8 тС/га, большая часть в остатках мхов. В пушицево-сфагновых мочажинах запас достигает 80,1 тС/га за счет плотных дернин пушицы.

ГП наземной фитомассы составляет 0,48 тС/га сосудистыми растениями (минимальное значение среди БГЦ) и 1,56 тС/га – мхами.

СКС имеют наиболее развитые древостои среди исследованных БГЦ. Средние высоты деревьев составляют здесь 1-2 м, отдельные деревья достигают высоты 5-6 м, большая часть последних представлены сухостоем. Пул углерода в живом древостое СКС участков составляет 2,92 тС/га, в сухостое – 1,66 тС/га. Соответственно, вклад древостоя в общий пул углерода живой фитомассы БГЦ здесь также максимальный – 18,2%. В наземном покрове СКС депонировано 4,5 тС/га, причем помимо мхов (2,9 тС/га, 18,1%), заметная доля содержится в кустарничках (1,11 тС/га, 6,9%).

В подземной фитомассе содержится в среднем 9,04 тС/га (56,5%). В мортмассе 40 см слоя залежи – 64,3 тС/га, причем доля отмерших частей сосудистых растений здесь минимальна, а сфагновых мхов, соответственно, максимальна.

Суммарный вклад хвои и новых веток в ГП составляет 0,04 тС/га за год. Надземная фитомасса здесь также демонстрирует максимальную ГП – 2,21 тС/га за год, в основном, за счет сфагновых мхов (1,64 тС/га).

Таблица. Запас и ГП углерода по элементам и типам БГЦ.

БГЦ Элемент микрорельефа	Аапа			ГМК				СКС		
	Гряды	Моч	Σ	Гряды	П Моч	Ш Моч	Σ	Пов	Пон	Σ
Запас, тС/га										
Древостой, сумма			0,01				0,22			5,56
в т.ч. надземная живая часть			0,01				0,11			2,92
сухостой			<				0,07			1,66
подземная живая часть (расчёт)			<				0,02			0,61
подземная мертвая часть (расчёт)			<				0,01			0,37
Надземный покров, сумма	3,44 ±0,76	1,92 ±1,09	2,56	3,86 ±1,1	5,38 ±2,43	5,54 ±1,33	4,57	3,62 ±1,06	6,42 ±1,28	4,46
мхи	2,39 ±0,8	0,91 ±1,13	1,53	2,43 ±0,92	4,66 ±2,75	5,18 ±1,42	3,52	1,84 ±0,34	5,4 ±1,6	2,90
кустарнички	0,43 ±0,34	0,02 ±0,04	0,19	1,05 ±0,49	0,15 ±0,14	0,08 ±0,1	0,64	1,31 ±0,74	0,64 ±0,46	1,11
травы	0,32 ±0,19	0,58 ±0,23	0,47	0,04 ±0,09	0,19 ±0,13	0,16 ±0,03	0,10	0,02 ±0,06	0,1 ±0,06	0,04
ветошь+опад	0,25 ±0,18	0,41 ±0,38	0,34	0,35 ±0,15	0,38 ±0,37	0,12 ±0,08	0,32	0,45 ±0,2	0,29 ±0,11	0,40
Подземная фитомасса (живые части сосудистых растений), 0–40 см, сумма	11,07 ±5,33	29,16 ±14,18	21,56	11,4 ±4,36	3,88 ±2,98	7,06 ±3,75	8,62	8,75 ±3,05	9,73 ±6,67	9,04
Подземная мортмасса, 0–40 см, сумма	34,53 ±12,37	41,26 ±20,12	38,71	54,97 ±27,24	80,09 ±26,39	55,95 ±8,7	61,77	56,55 ±10,48	79,48 ±11,31	63,43
очес (остатки мхов)	31,52 ±12,66	10,85 ±12,09	19,53	49,23 ±26,37	45,74 ±22,61	45,08 ±6,36	47,55	51,64 ±9,92	65,65 ±14,29	55,85
мертвые части сосудистых растений	2,51 ±1,83	6,2 ±5,28	4,65	4,54 ±5,6	33,9 ±31,61	10,33 ±5,29	13,33	4,05 ±2,53	12,69 ±6,01	6,64
опад	0,49 ±0,29	0,3 ±0,69	0,38	1,2 ±0,85	0,46 ±0,5	0,54 ±0,24	0,88	0,86 ±0,58	1,13 ±0,62	0,94
неопределяемая мортмасса	0,7 ±2,82	23,91 ±15,93	14,16	-	-	-	-	-	-	-
Годичная продукция*, тС/га										
Ветки и хвоя сосны			<				<			0,04
Мхи	1,93 ±0,81	0,37 ±0,88	1,03	1,81 ±0,38	1,22 ±0,32	1,25 ±0,2	1,56	1,6 ±0,11	1,76 ±0,43	1,64
Кустарнички	0,36 ±0,51	0,01 ±0,03	0,16	0,63 ±0,22	0,11 ±0,1	0,05 ±0,06	0,39	0,57 ±0,27	0,41 ±0,25	0,52
Травы	0,32 ±0,19	0,58 ±0,23	0,47	0,04 ±0,09	0,19 ±0,13	0,16 ±0,03	0,10	0,02 ±0,06	0,1 ±0,06	0,04

Обозначения: Моч – мочажины (П – пушицевые, Ш – шейхцериевые), Пов – повышения, Пон – понижения, Σ - пространственно-взвешенное среднее. * определялась только надземная чистая первичная продукция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследованные БГЦ значительно различаются как по общему пулу углерода в живой фитомассе, так и по доле в нем различных фракций. Наибольший общий пул в живой фитомассе выявлен на аапа болотах, наименьший – в ГМК, что может объясняться ухудшением условий водно-минерального питания участков. Во всех случаях основной пул углерода живой фитомассы выявлен в подземных частях сосудистых растений. Особенностью аапа участков является

несущественная доля древостоя, низкая мхов и максимально высокая подземных органов сосудистых растений в общем пуле углерода живой фитомассы. Для ГМК характерна повышенная доля сфагновых мхов и пониженная сосудистых растений в пуле углерода. СКС отличаются более развитым древостоем, пулы углерода в нем и в моховом покрове примерно равны. Другими особенностями СКС являются относительно высокая доля кустарничков и относительно низкая – подземных органов растений. В мортмассе во всех случаях основной составляющей являются остатки сфагновых мхов. В мочажинах ГМК активное развитие пушицы приводит к формированию плотных дернин, сохраняющихся в торфе, однако и здесь остатки сфагнов составляют основную мортмассу. Это свидетельствует о том, что во всех исследованных БГЦ основная роль в длительном депонировании углерода связана со сфагновыми мхами. Это же подтверждается значениями ГП, наибольшую долю в которой во всех случаях составляют сфагновые мхи.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6)». Анализ образцов выполнен с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Baginsky V.F. 2018. *Forest taxation: a textbook for students of the specialty "Forestry", "Forest Engineering"*, GSU im. F. Skorina, Gomel, 367 pp. (in Russian) [Багинский В.Ф. 2018. Лесная таксация: учебник для студентов специальности «Лесное хозяйство», «Лесоинженерное дело». Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины. 367 с.]
- Elina G.A. 1977. Mire types of the Shuya Plain. In: *Stationary study of mires and paludified forests in connection with melioration*, (N.I. Pyavchenko, ed.), pp. 5–19, Karelian Branch of the USSR Academy of Sciences, Petrozavodsk (in Russian). [Елина Г.А. 1977. Типы болот Шуйской равнины // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией / Под ред. Н.И. Пьявченко. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 5-19]
- Elina G.A., Kuznetsov O.L., Maksimov A.I. 1984. *Structural and functional organisation and dynamics of mire ecosystems in Karelia*. Nauka, Leningrad, 128 pp. (in Russian) [Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. 1984. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л: Наука, 128 с.]
- Elina G.A., Lukashov A.D., Tokarev P.N. 2005. *Mapping of vegetation and landscapes on temporary cuts of the Holocene of a taiga zone of East Fennoscandia*. Nauka, St. Petersburg, 112 pp. (in Russian) [Елина Г.А., Лукашов А.Д., Токарев П.Н. 2005. Картографирование растительности и ландшафтов на временных срезах голоцена таежной зоны восточной Фенноскандии. СПб: Наука. 112 с.]
- Pyasov D.V., Meshcheryakova A.V., Glagolev M.V., Kupriianova I.V., Kaverin A.A., Sabrekov A.F., Kulyabin M.F., Lapshina E.D. 2023. Field-Layer Vegetation and Water Table Level as a Proxy of CO₂ Exchange in the West Siberian Boreal Bog. *Land*, 12 (3): 566. <https://doi.org/10.3390/land12030566>
- Joosten H., Clarke D. 2002. Wise use of mires and peatlands. *International mire conservation group and international peat society*. Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi, 304 pp.
- Kazimirov N.I. 1995. *Pine forests ecological productivity (Mathematical model)*, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, 132 pp. (in Russian). [Казимиров Н.И. 1995. Экологическая продуктивность сосновых лесов: Математическая модель. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 132 с.]
- Methodological recommendations for assessing carbon pools and flows in mire ecosystems in Russia. Part 1. Field studies*. 2023. Khanty-Mansiysk. 62 pp. (in Russian) [Методические рекомендации по оценке углеродных пулов и потоков в болотных экосистемах России. Часть 1. Полевые исследования. 2023. Ханты-Мансийск. 62 с.]
- Mironov V.L., Kuznetsov O.L., Kantserova L.V., Kutenkov S.A., Ignashov P.A., Talbonen E.L., Vasyuta V.S., Svirida A.N. 2023. Comparison of linear increments and annual production of Sphagnum mosses obtained using three research methods (Koivulambisuo mire system, southern Karelia). *Transactions of the Karelian Research Centre RAS*, 8: 48–64. (in Russian) [Миронов В.Л., Кузнецов О.Л., Канцеров Л.В., Кутенков С.А., Игнашов П.А., Талбонен Е.Л., Васюта В.С., Свирида А.Н. 2023. Сравнение линейных приростов и годичной продукции сфагновых мхов, полученных с применением трех методов исследований (болотная система Койвуламбисуо, южная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Экологические исследования. №8. С. 48-64] <https://doi.org/10.17076/eco1847>
- Yurkovskaya T.K. 1992. Geography and Cartography of Mire Vegetation of European Russia and Neighbouring Territories. *Transactions of Komarov Botanical Institute*, 4: 1-256 (in Russian) [Юрковская Т.К. 1992. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий. СПб.: БИН РАН. 256 с.]

Поступила в редакцию: 14.07.2024
Переработанный вариант: 16.08.2024