

УДК: 57.033: 57.084.5: 58.009: 58.02 : 630\*181.351

DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12115

**БИОРАЗНООБРАЗИЕ РАСТЕНИЙ НИЖНИХ ЯРУСОВ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**Д.А. Полосухина<sup>1</sup>, А.С. Прокушкин<sup>1,2</sup>, О.В. Масыгина<sup>2</sup><sup>1</sup> Институт экологии и географии Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия<sup>2</sup> Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

✉ dana\_polo@mail.ru, prokushkin@ksc.krasn.ru, oханамас@ksc.krasn.ru

Арктические и северные лесные экосистемы характеризуются практически сплошным моховолишайниковым и травяно-кустарничковым покровом. Нижние ярусы растительности могут занимать до 95% от общей биомассы экосистем. Составляя кормовую базу северного оленя, а так же выступая площадкой для ведения хозяйственной деятельности человека, экосистемы бореального биома становятся уязвимыми, что напрямую связано с климатическими изменениями и антропогенной нагрузкой. В статье произведена оценка биоразнообразия нижних ярусов сосновых лесов путем описания видового состава, запасов и встречаемости растений. Изучаемые экосистемы располагаются на юге арктической зоны Российской Федерации в Туруханском районе Красноярского края, на территории входящей в зону охвата станции высотной мачты ZOTTO. Доминантами в живом напочвенном покрове сосновых биогеоценозов выступают *Cladonia stellaris* (Opiz), *Cladonia rangiferina* (L.), *Cetraria islandica* (L.), *Pleurozium schreberi schreberi* (Willd. ex Brid.), *Hylocomium splendens* (Hedw.), *Aulacomnium palustre* (Hedw.), *Vaccinium myrtillus* (L.) В сосняках Сымско-Дубческого лесорастительного округа запасы фитомассы в живом напочвенном покрове варьируют от 355 г/м<sup>2</sup> в сосняках лишайниковых до 830 г/м<sup>2</sup> в сосняках зеленомошных. На долю моховолишайникового яруса приходится 78-96% общей фитомассы напочвенного покрова. Его запасы сопоставимы с фотосинтезирующей фитомассой древесного яруса (сосны). Полученные данные будут использованы для дальнейшей экологофизиологической характеристики доминантов растительности.

**Ключевые слова:** Биоразнообразие, сосновые леса, мхи, лишайники, кустарнички, запасы фитомассы, ZOTTO.

**PLANT BIODIVERSITY OF THE LOWER TIERS OF PINE FORESTS IN CENTRAL SIBERIA**D.A. Polosukhina<sup>1</sup>, A.S. Prokushkin<sup>1,2</sup>, O.V. Masyagina<sup>2</sup><sup>1</sup> Institute of ecology and geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia<sup>2</sup> V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Arctic and northern forest ecosystems are characterized by an almost continuous moss-lichen and grass-shrub cover. The lower layers of vegetation can occupy up to 95% of the total biomass of ecosystems. Making up the forage base of the reindeer, as well as acting as a platform for human economic activities, the ecosystems of the boreal biome become vulnerable. Which is directly related to climate change and anthropogenic pressure. The article assesses the biodiversity of the lower tiers of pine forests by describing the species composition, stocks and occurrence of plants. The studied ecosystems are located in the south of the Arctic zone of the Russian Federation in the Turukhansk region of the Krasnoyarsk Territory, on the territory included in the coverage area of the ZOTTO high-altitude mast station. The dominant species in the living ground cover of pine ecosystems are *Cladonia stellaris* (Opiz), *Cladonia rangiferina* (L.), *Cetraria islandica* (L.), *Pleurozium schreberi schreberi* (Willd. ex Brid.), *Hylocomium splendens* (Hedw.), *Vaccinium myrtillus* (L.) In the pine forests of the SymskoDubchesky forestry district, the phytomass stock in the living ground cover vary from 355 g / m<sup>2</sup> in lichen pine forests to 830 g / m<sup>2</sup> in green moss pine forests. The moss-lichen layer accounts for 78-96% of the total phytomass of the ground cover. Its reserves are comparable to the photosynthesizing phytomass of the tree layer (pine). The data obtained will be used for further ecological and physiological characterization of vegetation dominants.

**Keywords:** Biodiversity, pine forests, mosses, lichens, shrubs, phytomass stock, ZOTTO

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена при поддержке РФФИ Арктика № 18-05-60203 «Почвенные и гидробиологические процессы в регулировании стока терригенного углерода в Северный Ледовитый океан».

## Введение

Баланс углерода представляет собой соотношение процессов поглощения, преобразования, выделения и частичной аккумуляции углерода между множеством его пулов. Лесные экосистемы являются важным компонентом углеродного цикла благодаря способности многих из них хранить гораздо большие объемы углерода (С), чем другие наземные экосистемы. Эти запасы углерода являются динамическими, в связи с изменениями в режимах землепользования, а также леса меняются под воздействием естественных нарушений и климатических факторов [1, 2].

В связи с глобальным изменением климата экосистемы севера из поглотителя углерода в атмосфере [1, 3] в будущем могут стать источником его дополнительного поступления [3, 4]. Отрицательный баланс потоков С в экосистемах бореальной зоны прогнозируется из-за избытка дыхания экосистемы, то есть увеличения потока минерализации С из почв по сравнению с его фотоассимиляцией [5, 6]. Моховолишайниковый ярус растительности может играть ключевую роль в накоплении углерода, поскольку он составляет 30-94% от общей биомассы экосистем [6, 7]. Таким образом, оценка запасов и «уязвимости» рассматриваемого растительного покрова бореальных биогеоценозов к повышению температуры, которая во многом определяется составом напочвенного покрова, остается одной из основных задач в современных исследованиях углеродного цикла.

Живой напочвенный покров является важной составляющей лесной экосистемы [8]. В структуре напочвенного покрова подавляющего большинства зрелых и перестойных лесов бореального пояса ключевую роль играет мохово-лишайниковый ярус (МЛЯ), который по запасам и формированию резервуара органического вещества во многом превосходит травяно-кустарничковый ярус (ТКЯ) [9, 10, 11]. Оценка запаса биомассы проводится в совокупности с определением биологического разнообразия в составе подчиненных ярусов растительного покрова. Значимым фактором выступает выявление видов-индикаторов (видов доминантов).

В таежных и тундровых сообществах доминантами выступают мхи и лишайники. Образуют слож-

ную пространственную синузальную структуру, чувствительны как к техногенным, так и к естественным воздействиям. Таким образом, видовой состав живого напочвенного покрова и его запас оцениваются в совокупности с встречаемостью видов. Установление особенностей формирования биоразнообразия отдельных ярусов особенно важно для лесных растительных сообществ, в которых каждый ярус выполняет специфические биолого-экологические функции и определяет общую устойчивость лесной экосистемы.

**Целью** данной работы являлось определение видового состава, встречаемости и запасов живого напочвенного покрова сосновых лесов Средней Сибири (на примере биогеоценозов входящих в зону охвата станции высотной мачты ZOTTO).

## Материалы и методы

Исследования проводились в ландшафтных комплексах, представленных 2 различными типами леса (сосняками лишайниковым и зеленомошным), наиболее характерных для среднетаежной подзоны Средней Сибири в южной части Туруханского района Красноярского края, в зоне охвата станции высотной мачты ZOTTO (60° N, 89° E). Согласно указу Президента Российской Федерации «О сухопутных территориях Арктической зоны Президента Российской Федерации» от 2 мая 2014 года район исследования входит в Арктическую зону.

Территория располагается в пределах Кеть-Сымской низменности на левобережье реки Енисей. Согласно лесорастительному районированию Сибири «ZOTTO» находится в пределах средней тайги Сымско-Дубченского лесорастительного округа [12]. Район относится к числу труднодоступных таёжных территорий. Основным фактором распределения растительных сообществ в данном районе является уровень грунтовых вод, определяющий степень увлажнения местообитания и дифференциацию увлажнения по элементам рельефа [13].

Климат района характеризуется континентальностью. Согласно агроклиматическому районированию, это умеренно холодный район с достаточным увлажнением: сумма температур выше 10 °С составляет 800-1200°, Гидротермический коэффициент (ГТК) = 1.2- 1.6. Среднегодовая температу-

ра воздуха  $-3,7^{\circ}\text{C}$ . Годовая амплитуда температур  $41,9^{\circ}\text{C}$ . Сумма атмосферных осадков 590 мм/год [13].

Согласно данным инвентаризации в полевых условиях, проведенной в 100 км зоне вокруг высотной мачты, в качестве основных лесных сообществ выступают ельники и пихтачи зеленомошные (46%), березняки и осинники (12.3%), сосняки зеленомошные (8.3%), сосняки лишайниковые (7,6%), кедрачи зеленомошные (1.8%). На долю гарей приходится 5,1%, болот 10.5% и молодых вырубок 2.6% от общей площади [14].

Для оценки запасов биомассы отбирались образцы травяно-кустарничкового, моховолишайникового яруса в каждом типе леса методом укусов в не менее чем 10 повторностях ( $S = 50\text{ см}^2$ ) на трансекте длиной 10 м. Всего было отобрано 100 образцов в сосняке лишайниковом и 100 образцов в сосняке кустарничково-зеленомошном.

Определялся видовой состав живого напочвенного покрова и встречаемость каждого отдельного вида. Встречаемость видов в растительных сообществах не одинакова. Равномерное или не равномерное распределение вида по всей пробной площади объясняется изменчивостью условий произрастания (освещения, почвы, микрорельефа) и биологическими особенностями видов. Так, при изучении растительности на каждой учетной площадке отмечают наличие или отсутствие каждого вида. На основании результатов наблюдений определяется коэффициент встречаемости, рассчитанный по формуле [15]:

$$R = \frac{A \times 100\%}{N} \quad (1)$$

где  $A$  – число площадок, в которых данный вид зарегистрирован;

$N$  – общее число обследованных площадок.

Латинские названия растений приведены по С.К. Черепанову [16], мхов и лишайников – по работам М.С. Игнатова и Е.А.Игнатовой [17, 18] и Э.Ф. Ведровой [20], определителю лишайников [19].

## Результаты

В сосняках лишайниковых обнаружены следующие виды: лишайники – *Cetraria islandica*, *Cladonia gracilis* (L.), *Cladonia rangiferina*, *Cladonia stellaris*, *Cladonia uncialis* (L.); мхи – *Aulacomnium palustre* и *Pleurozium schreberi*, травы и кустарнички – *Carex macroura* (Meinsh.), *Ledum palustre*, *Vaccinium vitis-idea*. Исходя из расчета коэффициента ва-

риации  $R$  наиболее часто встречаются ассоциации лишайников: *Cladonia stellaris* (63%), *Cladonia rangiferana* (54%), *Cetraria islandica* (48%) (рис. 1.). На виды травяно-кустарничкового яруса приходится от 2% до 12%, *Carex macroura* и *Vaccinium vitis-idea*, соответственно. Моховые синузии представлены *Pleurozium schreberi* (встречаемость 18%) и *Aulacomnium palustre* (8%).

При анализе видовых запасов био(фито)массы живого напочвенного покрова сосняка лишайникового отмечено, что большая часть запасов приходится на виды лишайников: *Cladonia stellaris* (41%), *Cladonia rangiferana* (32%), *Cetraria islandica* (16%). На долю кустарничков приходится 4%, а мхов лишь 1,5% (рис. 2.).

В напочвенном покрове сосняков кустарничково-зеленомошных отмечается большее видовое разнообразие, чем у сосняков лишайниковых. Так травяно-кустарничковый ярус представлен: *Empetrum nigrum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum* и *Vaccinium vitis-idea*. Отмечено присутствие в мохово-лишайниковом ярусе лишайников – *Cladonia gracilis*, *Cladonia rangiferana*, *Cladonia uncialis* и мхов видов: *Aulacomnium palustre*, *Dicranum elongatum* (Schleich. ex Schwägr), *Dicranum polysetum* (Sw.), *Dicranum spadiceum* (J.E.Zetterst), *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *Ptilium crista-castrangis*. В мохово-лишайниковом покрове чаще всего встречаются *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium palustre*, в травяно-кустарничковом ярусе доминирует *Vaccinium myrtillus* (рис. 3.).

Основная часть запасов био(фито)массы в живом напочвенном покрове сосняка кустарничково-зеленомошного приходится на виды мхов: *Pleurozium schreberi* (35%), *Hylocomium splendens* (21%), *Aulacomnium palustre* (10%) (рис. 4.).

Таким образом, как по встречаемости, так и по видовым запасам биомассы доминантными видами в исследуемых биогеоценозах являются: *Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferana*, *Cetraria islandica*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium palustre*. По определению видового состава подчиненных ярусов растительности среднетаежных лесов Сибири проводились ранее исследования. Е.А. Вагановым и др., Э. Ф. Ведровой и др. [1, 18] отмечается формирование специфической напочвенной растительности с преобладанием сплошного мохового покрова из зеленых мхов (родов *Pleurozium*, *Hylocomium*, *Polytrichum*) и кустистых лишайников (родов *Cladonia*, *Cladina*, *Cetraria*) для сосняков Сымско-Дубченского лесо-

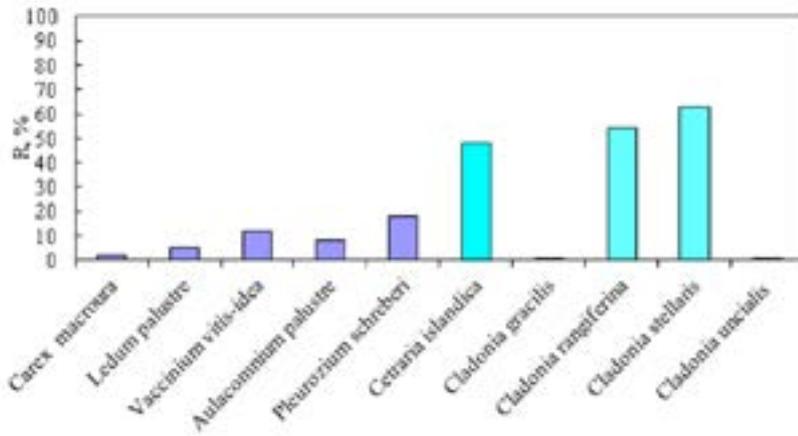


Рисунок 1 — Встречаемость видов живого напочвенного покрова в сосняке лишайниковом.

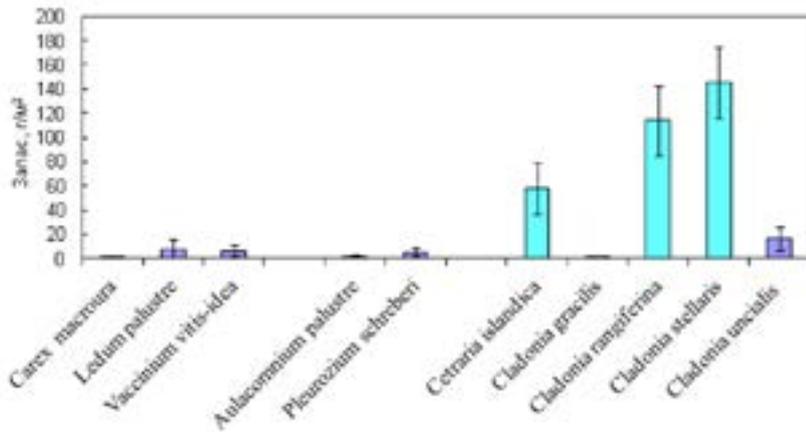


Рисунок 2 — Видовые запасы био(фито)массы в живом напочвенном покрове сосняка лишайникового

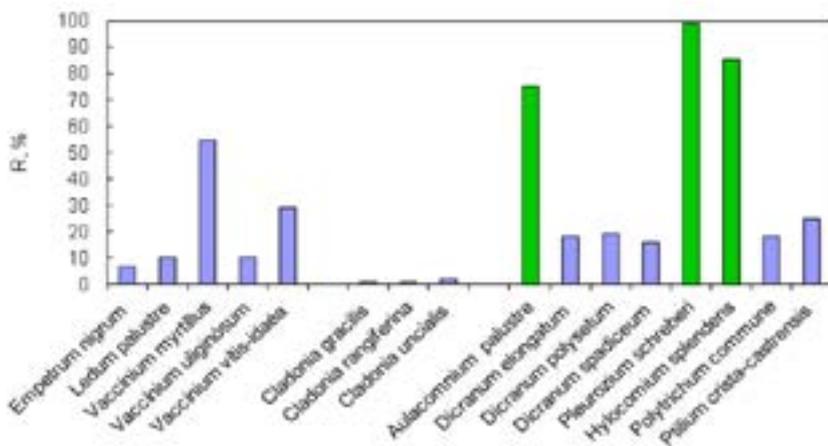


Рисунок 3 — Встречаемость видов живого напочвенного покрова в сосняке кустарничково-зеленомошном

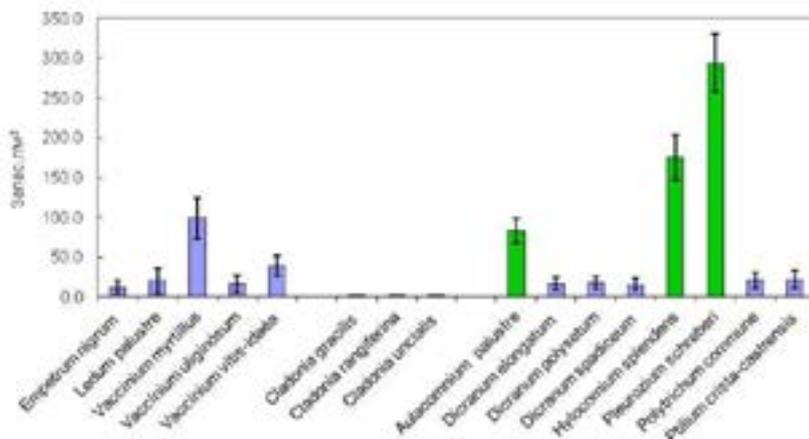


Рисунок 4 — Видовые запасы био(фито)массы в живом напочвенном покрове сосняка кустарничково-зеленомошном

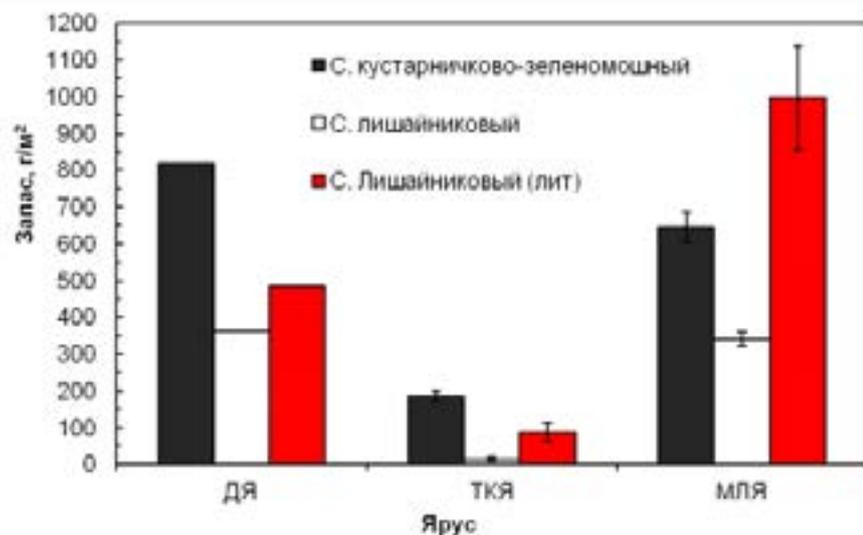


Рисунок 5 — Запасы органического вещества подчиненных ярусов растительности и фитомассы древесного яруса.

растительного округа. Сравнение оценки видового разнообразия и доминантов ТКЯ и МЛЯ, полученной нами, с имеющимися на сегодняшний момент в районе исследований, показало, что они в целом соответствуют.

В изучаемых таежных экосистемах установлено, что запасы фитомассы в живом напочвенном покрове варьируют от  $354 \pm 25$  г/м<sup>2</sup> в сосняках лишайниковых до  $646 \pm 40$  г/м<sup>2</sup> в сосняках зеленомошных. Так, на долю мохово-лишайникового яруса приходится 78-96 % общей фитомассы живого напочвенного покрова. Следует подчеркнуть, что его запасы сопоставимы с фотосинтезирующей фитомассой древесного яруса (сосны) этих биогеоценозов. На живой напочвенный покров в кустарничково-зеленомошных сосняках приходится  $830 \pm 50$  г/м<sup>2</sup> и в лишайниковых  $354 \pm 25$  г/м<sup>2</sup>, а на фитомассу сосны  $821$  г/м<sup>2</sup> и  $362$  г/м<sup>2</sup> соответственно. Сходная закономерность приведена В. З. Нагимовым с соавт. [7] для сосновых насаждений лишайникового типа среднетаежной подзоны Урала (рис. 5). Авторами представлено, что запас ТКЯ и МЛЯ в совокупности составляет  $1084 \pm 70$  г/м<sup>2</sup> против  $486$  г/м<sup>2</sup> в фитомассе сосны.

Для исследуемой территории в работах [20, 21, 22] также отмечается значительный вклад мохово-лишайникового яруса в запасах живого напочвенного покрова. Так, на мхи приходится 39-47%, лишайники - 39-43%, кустарнички 20-53% от общей фитомассы подчиненных ярусов растительности в лишайниковых и зеленомошных сосновых лесах соответственно [21, 22]. В среднем для бореально-

го пояса, по оценкам Шпак О.В., разные виды мохово-лишайникового яруса могут накапливать от 194 до 1231 г сухой массы на м<sup>2</sup> [23].

### Выводы

Видовой состав нижних ярусов растительности таежных лесов Средней Сибири обилен. Наиболее часто встречаются виды мохово-лишайникового покрова. Доминантными среди них в исследуемых биогеоценозах являются: *Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferina*, *Cetraria islandica*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Aulacomnium palustre*. В сосняках Сымско-Дубческого лесорастительного округа запасы фитомассы в живом напочвенном покрове варьируют от  $355$  г/м<sup>2</sup> в сосняках лишайниковых до  $830$  г/м<sup>2</sup> в сосняках зеленомошных. На долю мохово-лишайникового яруса приходится 78-96 % общей фитомассы напочвенного покрова. Его запасы сопоставимы с фотосинтезирующей фитомассой древесного яруса (сосны). Полученные данные будут использованы для дальнейшей эколого-физиологической характеристики доминантов нижнего яруса растительности.

### Благодарности

Авторы признательны за помощь в организации полевых исследований сотрудникам лаборатории Биогеохимических циклов лесных экосистем Института Леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-05-60203 «Почвенные и гидробиологические процессы в регулировании стока терригенного углерода в Северный Ледовитый океан».

**Список литературы:**

1. Ваганов Е. А., Ведрова Э. Ф., Верховец С. В., Ефремов С. П., Ефремова Т. Т., Круглов В. Б., Онучин А. А., Сухинин А. И., Шибистова О. Б. Леса и болота Сибири в глобальном цикле углерода // Сибирский экологический журнал. 2005. №4. С. 631 - 649.
2. Schulze E.-D., Prokuschkin A. S., Arneth A., Knorre N., Vaganov E. A. Net ecosystem productivity and peat accumulation in a Siberian Aapa mire // Tellus, serie B. 2002. №54. P. 531– 536.
3. Bisbee K.E., Gower S.T., Norman J.M., Nordheim E.V. Environmental controls on ground cover species composition and productivity in a boreal black spruce forest // Oecologia. 2001. № 129. P.261–270.
4. Bryant D., Nielsen D., Tanglely L., Sizer N., Miranda M., Brown P., Johnson N., Malk A., Miller K. The last frontier forests // Washington, D.C., World Resources Institute [WRI], Forest Frontiers Initiative. 1997. p 39.
5. Масыгина О.В., Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Мори С., Койке Т. Эмиссия CO<sub>2</sub> с поверхности напочвенного покрова в лиственничниках Центральной Эвенкии // Лесоведение. 2005. № 6. С. 19-29.
6. Mori S, Yamaji K, Ishida A, Prokushkin S G, Masyagina O V, Hagihara A, Rafiqul Hoque A T M, Suwa R, Osawa A, Nishizono T, Ueda T, Kinjo M, Miyagi T, Kajimoto T, Koike T, Matsuura Y, Toma T, Zyryanova O A, Abaimov A P, Awaya Y, Araki M G, Kawasaki T, Chiba Y and Umari M Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees // PNAS. 2010. V. 107. №4. P. 1447-1451.
7. Нагимов В.З., Артемьева И.Н., Луганский Н.А., Нагимов З.Я. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых насаждений лишайникового типа // Леса России и хозяйство в них. 2009. № 2(32) . С. 3-9
8. Плешиков Ф. И. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 356 с.
9. 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.
10. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92
11. Власова Н.А., Курбанов Э. А. Методические аспекты пространственной оценки живого напочвенного покрова сосняков Марийского Заволжья // Сборник научных статей всероссийской конференции «Современные проблемы почвоведения и экологии». Йошкар-Ола. 2006. С 137-142
12. Герасимов И. П. Средняя Сибирь. Природные условия и естественные ресурсы. М.: Наука, 1964. 492 с.
13. Метеорологические данные с метеостанции Бор: база данных содержит сведения National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). – США, [2013]. – Режим доступа: <http://www.noaa.gov/>
14. Климченко А. В., Верховец С.В., Слинкина О.А., Кошурникова Н.Н. Запасы крупных древесных остатков в среднетаежных экосистемах Приенисейской Сибири // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С.91-97
15. Иншаков Е. М., Сунцова Л.Н. Изучение живого напочвенного покрова и ресурсов дикорастущих лекарственных растений. Красноярск: СибГТУ. 35 с.
16. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб: Мир и семья, 1995. 990 с.
17. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России // Москва.– 2003. Т. 1. С. 622-625
18. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России // Москва. – 2004. Т. 2 . С. 611-960.
19. Определитель лишайников СССР. Вып. 1, 4, 5 Ленинград 1971, 412с., 1977, 344с., 1978, 204 с.
20. Ведрова Э. Ф., Плешиков, Ф. И., Каплунов В. Я. Структура органического вещества северотаёжных экосистем Средней Сибири // Лесоведение. 2002. №6. С. 3–12
21. Панов А.В., Онучин А.А., Кошурникова Н.Н. Структура и динамика фитомассы на вырубках в сосняках лишайниковых Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 39. №12. С. 129-133.
22. Трефилова О. В., Ведрова Э. Ф., Кузьмичев В. В. Годичный цикл углерода в зеленомошных сосняках енисейской равнины // Лесоведение, 2011, № 1, с. 3–12
23. Шпак О. В. Шмакова Н.Ю. Суточная динамика CO<sub>2</sub>-газообмена некоторых мхов в Хибинах (Мурманская область) // Современная физиология растений: от молекул до экосистем: Матер. VI съезда ОФР. – 2007. – Ч. 3. – С. 132-134.

## References:

- Vaganov E. A., Vedrova E. F., Verhovec S. V., Efremov S. P., Efremova T. T., Kruglov V. B., Onuchin A. A., Suhinin A. I., SHibistova O. B. Lesa i bolota Sibiri v global'nom cikle ugleroda [Forests and Swamps of Siberia in the global carbon cycle] // Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2005. №4. S. 631 - 649. (in Russian)
- Schulze E.-D., Prokuschkin A. S., Arneith A., Knorre N., Vaganov E. A. Net ecosystem productivity and peat accumulation in a Siberian Aapa mire // Tellus, serie B. 2002. №54. P. 531– 536.
- Bisbee K.E., Gower S.T., Norman J.M., Nordheim E.V. Environmental controls on ground cover species composition and productivity in a boreal black spruce forest // Oecologia. 2001. № 129. P.261–270.
- Bryant D., Nielsen D., Tanglely L., Sizer N., Miranda M., Brown P., Johnson N., Malk A., Miller K. The last frontier forests // Washington, D.C., World Resources Institute, Forest Frontiers Initiative. 1997. p 39.
- Masyagina O. V., Prokushkin S. G., Abaimov A. P., Mori S., Koike T. Emissiya SO<sub>2</sub> s poverhnosti napochvennogo pokrova v listvennichnikah Central'noj Evenkii [CO<sub>2</sub>emission from the surface of the ground cover in the larch forests of Central Evenkia] // Russian journal of forest science (Lesovedenie).2005. №6. S.19-29 (in Russian)
- Mori S, Yamaji K, Ishida A, Prokushkin S G, Masyagina O V, Hagihara A, Rafiqul Hoque A T M, Suwa R, Osawa A, Nishizono T, Ueda T, Kinjo M, Miyagi T, Kajimoto T, Koike T, Matsuura Y, Toma T, Zyryanova O A, Abaimov A P, Awaya Y, Araki M G, Kawasaki T, Chiba Y and Umari M Mixed-power scaling of whole-plant respiration from seedlings to giant trees // PNAS. 2010. V. 107. №4. P. 1447-1451.
- Nagimov V.Z., Artem'eva I.N., Luganskij N.A., Nagimov Z.YA. Osobennosti formirovaniya nadzemnoj fitomassy osnovnykh nasazhdenij lishajnikovogo tipa [Features of the formation of aboveground phytomass of pine plantations of the lichen type] // Lesa Rossii i hozyajstvo v nih. 2009. № 2(32) . S. 3-9 (in Russian)
- Pleshikov F. I. Lesnye ekosistemy Enisejskogo meridiana [Forest ecosystems of the Yenisei meridian]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. 356 s. (in Russian)
- Prokushkin S.G., Abaimov A.P., Prokushkin A.S., Masyagina O.V. Biomassa napochvennogo pokrova i podleska v listvennichnykh lesakh kriolitozony Srednej Sibiri // Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2006. №2. S 131-139. (in Russian)
- SHvidenko A. Z., SHCHepashchenko D. G. Uglerodnyj byudzhet lesov Rossii // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2014. № 1. S. 69–92. (in Russian)
- Vlasova, N. A. Fitomassa i prostranstvennoe raspredelenie zhivogo napochvennogo pokrova sosnyakov zelenomoshnoj gruppy tipov lesa Marijskogo Zavolzh'ya: Avtoref. dis. ... kand. s-h.nauk. — Joshkar-Ola, 2007. — 25 s. (in Russian)
- Gerasimov I. P. Srednyaya Sibir'. Prirodnye usloviya i estestvennye resursy [Central Siberia. Natural conditions and natural resources] M.: Nauka, 1964. 492 s. (in Russian)
- Meteorologicheskie dannye s meteostancii Bor [Elektronnyj resurs] : baza dannykh soderzhit svedeniya National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). – SSHA, [2013]. – Rezhim dostupa: <http://www.noaa.gov/>. (in Russian)
- Klimchenko A. V., Verhovec S.V., Slinkina O.A., Koshurnikova N.N. Zapasy krupnykh drevesnykh ostatkov v srednetaezhnykh ekosistemah Prienisejskoj Sibiri [Stocks in coarse woody debris in the middle taiga ecosystems located along the Yenisei River] // Geografiya i prirodnye resursy. 2011. № 2. S.91-97 (in Russian)
- Inshakov E. M., Suncova L.N. Izuchenie zhivogo napochvennogo pokrova i resursov dikorastushchih lekarstvennykh rastenij [Study of the living ground cover and resources of wild medicinal plants methodological guide]. Krasnoyarsk: SibGTU. 35 s. (in Russian)
- CHerepanov S. K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv [Vascular Plants of Russia and Adjacent States]. SPb: Mir i sem'ya, 1995. 990 s. (in Russian)
- Ignatov M.S., Ignatova E.A. Flora mhov srednej chasti Evropejskoj Rossii // Moskva. – 2003. T. 1. S. 622-625 (in Russian)
- Ignatov M.S., Ignatova E.A. Flora mhov srednej chasti Evropejskoj Rossii // Moskva. – 2004.T. 2 . S. 611-960. (in Russian)
- Opredelitel' lishainikov SSSR. Vyp. 1, 4, 5 [Handbook of the lichens of the USSR. Iss. 1, 4, 5]. Iss. 1, 4, 5. Leningrad, 1971, 412 p. 1977, 344 p. 1978, 204 p. (in Russian)
- Vedrova E. F., Pleshikov, F. I., Kaplunov V. YA. Struktura organicheskogo veshchestva severotayozhnykh ekosistem Srednej Sibiri [Structure of Organic Matter in the Northern-Taiga Ecosystems of the Middle Siberia] // Lesovedenie. 2002. №6. S. 3–12 (in Russian)
- Panov A.V., Onuchin A.A., Koshurnikova N.N. Struktura i dinamika fitomassy na vyrubkakh v sosnyakah lishajnikovyx Srednej Sibiri [Phytomass structure and dynamics at cuttings in the Central Siberia lichen pine forests] // Vestnik KrasGAU. 39. №12. S. 129133. (in Russian)
- Trefilova O. V., Vedrova E. F., Kuz'michev V. V. Godichnyj cikel ugleroda v zelenomoshnykh sosnyakkh enisejskoj ravniny [The Annual Carbon Cycle in Green-Moss Pine Forests of the Yenisey Plain] // Lesovedenie, 2011, № 1, s. 3–12. (in Russian)
- SHpak O. V. SHmakova N.YU. Sutochnaya dinamika SO<sub>2</sub> -gazoobmena nekotorykh mhov v Hibirnah (Murmanskaya oblast') [The CO<sub>2</sub>-gas exchange of some kinds of mosses in Khibiny Mts.] // Sovremennaya fiziologiya rastenij: ot molekul do ekosistem: Mater. VI s'ezda OFR. – 2007. – CH. 3. – S. 132-134. (in Russian)