

Краткое сообщение

УДК 630*181.351

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-3-175-182

Световой режим под пологом березняка черничного

*А.Н. Соболев*¹, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID [AAS-3366-2020](https://orcid.org/0000-0002-7961-8318),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7961-8318>

*П.А. Феклистов*²✉, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAC-2377-2020](https://orcid.org/0000-0001-8226-893X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

*В.И. Мелехов*³, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

*И.Н. Болотов*², д-р биол. наук, чл.-корр. РАН; ResearcherID: [P-2892-2015](https://orcid.org/0000-0002-3878-4192),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3878-4192>

*О.С. Барзут*³, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AFN-5294-2022](https://orcid.org/0000-0002-0338-9715),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0338-9715>

¹Соловецкий музей заповедник, пос. Соловецкий, Приморский р-н, Архангельская обл., Россия, 164070; alex-sobol@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 109, г. Архангельск, Россия, 163000; pfeklistov@yandex.ru✉, dirnauka@fciarctic.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; v.melekhov@narfu.ru, o.barzut@narfu.ru

Поступила в редакцию 25.03.25 / Одобрена после рецензирования 19.06.25 / Принята к печати 23.06.25

Аннотация. Исследование проводили на Большом Соловецком острове в Белом море. Изучали освещенность в типичном для острова березняке черничном с большой площадью выдела. Состав древостоя – 7БЗЕ, с равной средней высотой березы и ели. Полог образован в основном березой с вкраплениями ели, полнота средняя, бонитет V – типичный для Большого Соловецкого острова. Для анализа светового режима под пологом древостоя было подобрано 20 учетных деревьев березы и 20 деревьев ели, под кронами которых производили измерение освещенности с помощью люксметра «ТКА-Люкс» в 5–10-кратной повторностях в разных частях подкоронового пространства. Учеты осуществляли 12 и 14 августа с 10 до 13 ч в разные по погодным условиям (облачности) дни: в ясный и в пасмурный, а также в разных направлениях, с северной стороны и с южной. Освещенность на открытом месте вблизи изучаемого березняка черничного составила в ясную солнечную погоду 66 000 лк, а в пасмурную – 22 000 лк. Освещенность под пологом леса в просветах между деревьями в ясную погоду оказалась в 2 раза ниже открытого места, а в пасмурную – в 3 раза. В ясную погоду освещенность под пологом березняков в среднем равнялась 10 500 тыс. лк, а под елями – 4300 лк, в пасмурную погоду – соответственно 4000 и 1500 лк. В ясную погоду различия для северной и южной сторон существенны и достоверны и под пологом березы, и под пологом ели. В пасмурную погоду различия нивелируются и недостоверны. В целом ель задерживает свет в 2 раза сильнее, чем береза.

Ключевые слова: освещенность, световой режим древостоя, полог леса, освещенность под пологом леса, породный состав, березняк черничный, береза, ель, Большой Соловецкий остров

© Соболев А.Н., Феклистов П.А., Мелехов В.И., Болотов И.Н., Барзут О.С., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лавёрова УрО РАН (№ государственной регистрации – 124103100030-1).

Для цитирования: Соболев А.Н., Феклистов П.А., Мелехов В.И., Болотов И.Н., Барзут О.С. Световой режим под пологом березняка черничного // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 3. С. 175–182. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-3-175-182>

Brief report

Light Regime Under the Canopy of a Birch-Blueberry Forest

*Aleksandr N. Sobolev*¹, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [AAS-3366-2020](https://orcid.org/0000-0002-7961-8318), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7961-8318>

*Pavel A. Feklistov*²✉, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAC-2377-2020](https://orcid.org/0000-0001-8226-893X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8226-893X>

*Vladimir I. Melekhov*³, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

*Ivan N. Bolotov*², Doctor of Biology, Corresponding Member of RAS;

ResearcherID: [P-2892-2015](https://orcid.org/0000-0002-3878-4192), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3878-4192>

*Oksana S. Barzut*³, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AFN-5294-2022](https://orcid.org/0000-0002-0338-9715), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0338-9715>

¹Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve, pos. Solovetsky, Primorskiy District, Arkhangelsk Region, Russia, 164070; alex-sobol@mail.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 109, Arkhangelsk, Russia, 163000; pfeklistov@yandex.ru✉, dirnauka@fciactic.ru

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russia, 163002; v.melekhov@narfu.ru, o.barzut@narfu.ru

Received on March 25, 2025 / Approved after reviewing on June 19, 2025 / Accepted on June 23, 2025

Abstract. The research was carried out on Bolshoy Solovetsky Island in the White Sea. Illumination was studied in a birch-blueberry forest with a fairly large allotment area. The forest is typical for the island. Stand composition: 7B3S; with equal average heights for birch and spruce. The canopy consists mainly of birch with occasional spruce; it is moderately dense and has the V quality class, which is typical for the Bolshoy Solovetsky Island. We selected 20 reference birch trees and 20 spruce trees to analyze the light conditions under the forest canopy. The light intensity was measured under their crowns using a TKA-Lux luxmeter, with 5–10 repetitions in different parts of the sub-crown space. The measurements were taken on August 12 and 14 from 10 a.m. to 1 p.m. on days with varying weather conditions (cloud cover), both clear and cloudy, as well as in different directions, from the north and from the south. Illumination in an open area near the studied birch-blueberry forest was 66,000 lux on a clear, sunny day and 22,000 lux on a cloudy day. Illumination under the forest canopy through the breaks in the trees was found to be half that of an open area on a clear day, and one-third on a cloudy day. On clear days, the average illumination under the canopy of birch trees was 10,500 lux, and under spruce trees, 4,300 lux; on cloudy days, these figures were 4,000 and 1,500 lux, respectively. On clear days, the differences between the north and south

sides are significant and statistically significant, both under birch canopies and under spruce canopies. On cloudy days, these differences are minimized and unreliable. Overall, spruce blocks light twice as effectively as birch.

Keywords: illumination, forest stand light regime, forest canopy, light conditions beneath the forest canopy, tree species composition, birch-blueberry forest, birch, spruce, Bolshoy Solovetsky Island

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the state assignment of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (State registration No. 124103100030-1).

For citation: Sobolev A.N., Feklistov P.A., Melekhov V.I., Bolotov I.N., Barzut O.S. Light Regime Under the Canopy of a Birch-Blueberry Forest. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 3, pp. 175–182. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-3-175-182>

Введение

Жизнедеятельность растений, в т. ч. древесных видов, во многом зависит от освещения. Солнечный свет – это не просто источник энергии для фотосинтеза: он влияет на образование хлорофилла, определяет направление роста (фототропизм) и регулирует периодичность ключевых биологических процессов [3, 4, 6, 8]. Эти аспекты подробно изучены и отражены в учебной литературе [7]. Особое значение световой режим приобретает в рамках растительных сообществ, где он становится одним из определяющих факторов существования леса. Этот вопрос традиционно рассматривается в фундаментальных работах по лесоведению [12]. Вместе с тем, как подчеркивал И.С. Мелехов [11], в научной литературе встречаются противоречивые данные об освещенности под пологом леса.

Подобные исследования зачастую ограничены конкретными регионами [1, 23, 24] либо посвящены специфике северотаежных лесов [14]. Это создает пробелы в понимании общих закономерностей освещенности. В то же время изучение процессов в лесных экосистемах необходимо для сохранения ключевых видов и поддержания их представленности в растительных сообществах [18]. Освещенность под пологом леса значительно влияет на все ярусы фитоценоза, виды травянистой растительности, урожайность ягодных растений, подрост, подлесок и древостой [5, 9, 10, 16]. О важности изучения проникновения света под полог леса говорят и публикации, отражающие моделирование этих процессов [19, 21, 22, 25]. Тем не менее, многие аспекты данной темы остаются малоизученными. Это обусловлено неодинаковостью географического расположения растительных сообществ; разнообразием фитоценозов; различным сочетанием древесных пород в составе насаждений; возрастными особенностями древостоев; погодными условиями.

Световой режим играет ключевую роль в естественном возобновлении леса под пологом древостоя. Он напрямую влияет на появление и развитие подроста разных пород, а в долгосрочной перспективе определяет характер сукцессий, т. е. предопределяет смену древесных пород [2, 13, 17]. Типичным примером такого древостоя служит березняк черничный. Он характерен не только для Соловецких островов, но и для таежной зоны в целом. На больших площадях, пройденных рубками, восстановление леса чаще всего начинается именно с березы.

Цель исследования – изучить освещенность под кронами деревьев и в окнах в сравнении с освещенностью открытого места при разных погодных условиях.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступил березняк черничный. Он занимает обширную для Соловецкого острова площадь порядка 3–4 га. Состав древостоя – 7БЗЕ, при этом береза и ель имеют равную среднюю высоту. Полог сформирован преимущественно березой с отдельными вкраплениями ели. Отмечена средняя полнота насаждения и низкий бонитет, что типично для северных условий (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика березняка черничного
Inventory characteristics of the birch-blueberry forest

Порода	Среднее		Полнота	Возраст, лет	Бонитет	Запас, м ³ /га
	диаметр, см	высота, м				
Береза	12	11	0,6	80	V	93
Ель	16	11	0,1	100		40

Для исследования светового режима под пологом березняка было отобрано 20 берез и 20 елей. Под кронами каждого из этих деревьев выполняли измерения освещенности с помощью люксметра «ТКА Люкс», а также в пролетах между деревьями. Учеты проводили в 5–10-кратных повторностях в разных частях подкоронового пространства. Такая методика широко применяется в эколого-физиологических исследованиях, в т. ч. за рубежом [20, 23, 26, 27]. Измерения осуществляли 12 и 14 августа с 10:00 до 13:00 в дни с разным уровнем облачности: 12.08 – ясный день; 14.08 – пасмурный день. Дополнительно замеры выполняли с разных сторон относительно ствола: с северной и южной и в окнах между деревьями. В результате было выполнено более 1200 измерений освещенности.

Результаты исследования и их обсуждение

Ключевым параметром для оценки светового режима под пологом леса служит освещенность на открытом пространстве. Полог древостоя действует как фильтр, пропуская лишь часть солнечного излучения. Предварительные замеры на открытом участке перед началом работ под пологом показали следующие значения: в ясную погоду – 66 000 лк; в пасмурную – 22 000 лк (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели освещенности на открытом месте вблизи березняка черничного
Statistical indicators of illumination (lux) in an open area near the birch-blueberry forest

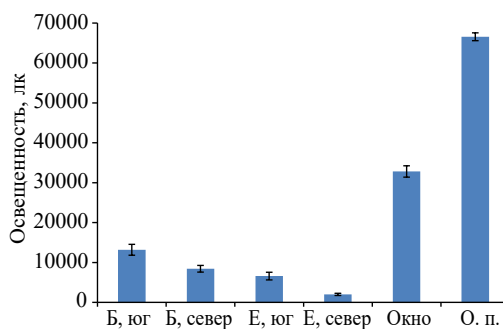
Погодные условия	М, лк	σ, лк	±m, лк	V, %	P, %	t
Ясное небо	66 567	3807	983	5,71	1,47	67,7
Пасмурно	22 253	6558	1693	29,47	7,60	13,1

Примечание: М – среднее значение; σ – стандартное отклонение; ±m – ошибка среднего; V – коэффициент вариации; P – точность опыта; t – достоверность, критерий Стьюдента.

Все полученные данные статистически достоверны при уровне значимости 0,05 и характеризуются высокой точностью измерений. Важный вывод касается изменчивости освещенности: в пасмурную погоду ее колебания на открытом пространстве почти в 6 раз превышают аналогичные показатели в ясную погоду. Это подчеркивает влияние облачности на стабильность светового режима и должно учитываться при анализе условий под пологом леса.

Исследование освещенности в ясную солнечную погоду показало, что световой режим под пологом леса существенно отличается от условий на открытом пространстве. Освещенность в просветах между деревьями в 2 раза ниже, чем на открытом участке (рис. 1). Это демонстрирует фильтрующую роль древостоя даже в зонах с минимальной затененностью.

Рис. 1. Освещенность с разных сторон деревьев березы, ели и в окнах в сравнении с открытым пространством (О.п.) в солнечную погоду
Fig. 1. Illumination from different sides of birch and spruce trees and through the breaks in the trees compared to the open space (O.p.) on a sunny day



Освещенность под пологом березы с южной стороны в солнечный день составляет около 13 000 лк; с северной – примерно 8000 лк. Различие достоверно. Под пологом ели с южной стороны зафиксирована освещенность 6500 лк; с северной – 2000 лк. Различие также достоверно. Эти данные свидетельствуют о том, что ель задерживает солнечный свет в 2 и более раз сильнее, чем береза. Более плотная крона ели создает в превосходящей степени выраженное затенение, особенно с северной стороны.

В пасмурную погоду, когда небо затянуто облаками, общие закономерности распределения освещенности сохраняются, но с рядом существенных отличий (рис. 2). Освещенность в просветах между деревьями почти в 3 раза ниже, чем на открытом пространстве. Это демонстрирует более выраженное рассеивание света облачным покровом и его фильтрацию пологом леса. Под пологом березы освещенность составляет около 4000 лк. При этом различия по сторонам света (север/юг) статистически недостоверны, вероятно, из-за равномерного рассеянного освещения при облачности. Под пологом ели уровень освещенности еще ниже – 1200–1700 лк. Различия между северной и южной сторонами также недостоверны.

Таким образом, реальная освещенность в разные дни (в зависимости от состояния облачности) будет варьироваться для ясной и пасмурной погоды, оставаясь достаточно высокой лишь в просветах между деревьями.

Освещенность под пологом леса критический фактор для произрастания и развития подроста. На момент проведения исследования под пологом березняка черничного зафиксировано около 500 шт./га елового подроста. При этом более светолюбивые виды – сосна и береза – в составе подроста отсутствуют. Это можно объяснить недостаточной освещенностью. Как показали измерения, в пасмурную погоду освещенность под пологом часто опускается ниже

3000 лк – критического уровня для существования подроста сосны (по данным А.В. Веретенникова [4]). Ель же более теневынослива, что позволяет ее подросту успешно развиваться в условиях умеренного затенения. Кроме того, согласно исследованиям Г.Ф. Хильми [15], ель менее чувствительна к толщине подстилки, чем сосна, что также способствует ее успешному возобновлению наряду с низкой освещенностью подпологового пространства.

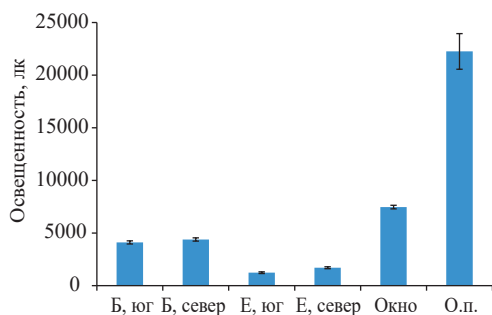


Рис. 2. Освещенность с разных сторон деревьев березы, ели и в окнах в сравнении с открытым пространством в пасмурную погоду

Fig. 2. Illumination from different sides of birch and spruce trees and through the breaks in the trees compared to the open space in a cloudy day

Выводы

Кроны деревьев и полог в целом рассеивают и фильтруют солнечный свет, существенно ослабляя его показатели в приземном пространстве по сравнению с открытым местом. Особенно сильно это проявляется в солнечную погоду и под кронами деревьев:

1. Освещенность на открытом месте в условиях Соловков в ясную погоду почти в 3 раза выше, чем в пасмурную – 22 000 и 66 000 лк соответственно.

2. Освещенность под пологом леса в просветах между деревьями в окнах в ясную погоду в 2 раза ниже открытого места, а в пасмурную – в 3 раза.

3. В ясную погоду освещенность под кронами деревьев березы и ели выше с южной стороны, а в пасмурную различия недостоверны.

4. В ясную погоду освещенность под березами в среднем составляет 10 500 лк, а под елями – 4300 лк, в пасмурную погоду – 4000 и 1500 лк соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев В.А. Световой режим леса. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1975. 227 с. Alekseev V.A. *Light Regime in a Forest*. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 227 p. (In Russ.).
2. Братилова Н.П., Лузганов А.Г., Свалова А.И., Власов Д.А. Влияние освещенности на рост потомств сосны кедровой сибирской разного географического происхождения // Лесн. таксация и лесоустройство. 2013. № 2(50). С. 78–80. Bratilova N.P., Luzganov A.G., Svalova A.I., Vlasov D.A. The Influence of Illumination on the Growth of Breeds of a Siberian Cedar Pine of Different Geographical Origin. *Forest inventory and forest planning*, 2013, no. 2(50), pp. 78–80. (In Russ.).
3. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т. 2. Леса умеренной зоны. М.: Прогресс, 1974. 423 с. Walter G. *Vegetation of the Globe. Ecological and Physiological Characteristics*. Vol. 2. Forests of the Temperate Zone. Moscow, Progress Publ., 1974. 423 p. (In Russ.).
4. Веретенников А.В. Физиология растений с основами биохимии. Воронеж: Воронеж. ун-т, 1987. 256 с. Veretennikov A.V. *Plant Physiology with the Basics of Biochemistry*. Voronezh, VGU Publ., 1987. 256 p. (In Russ.).

5. Зубкова Е.В., Фролов П.В., Быховец С.С., Шанин В.Н. Комплексное исследование напочвенного покрова леса с учетом факторов влажности почв и освещенности под пологом // Заповедники – 2019: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 231–234.

Zubkova E.V., Frolov P.V., Bykhovets S.S., Shanin V.N. The Comprehensive Study of Ground Cover of the Forest, Taking into Account the Factors of Soil Moisture and Light Under the Canopy. *The Nature Reserves – 2019. Biological and Landscape Diversity, Conservation and Management. The abstracts of the 9th Pan-Russian Scientific-Practical Conference.* 2019, pp. 231–234. (In Russ.).

6. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 464 с.

Kramer P.D., Kozlovskiy T.T. *Physiology of Woody Plants.* Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 464 p. (In Russ.).

7. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высш. шк.; Абрис, 2011. 783 с.

Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A. *Plant Physiology.* Moscow, Vysshaya Skola, Abris Publ., 2011. 783 p. (In Russ.).

8. Лур Х., Польстер Г., Фидлер Г. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 423 с.

Lear Kh., Polster G., Fiedler G. *Physiology of Woody Plants.* Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 423 p. (In Russ.).

9. Малиновских А.А. Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность брусники в условиях Средне-Обского бора Алтайского края // Вестн. Алтайск. гос. аграрн. ун-та. 2016. № 4(138). С. 105–109.

Malinovskikh A.A. The Effect of Illumination Level Under Forest Canopy on Cowberry Yield Under the Conditions of the Sredne-Obskoy Pine Forest of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2016, no. 4(138), pp. 105–109. (In Russ.).

10. Малиновских А.А. Влияние уровня освещенности под пологом леса на урожайность черники в условиях средне-обского бора алтайского края // Вестн. Алтайск. гос. аграрн. ун-та. 2017. № 6(152). С. 87–92.

Malinovskikh A.A. The Effect of Illumination Level Under Forest Canopy on European Blueberry Yield Under the Conditions of the Sredne-Obskoy Pine Forest of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2017, no. 6(152), pp. 87–92. (In Russ.).

11. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.

Melekhov I.S. *Forest Science.* Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 408 p. (In Russ.).

12. Основы лесной биогеоценологии / АН СССР. Ботан. ин-т и Лаборатория лесоведения. Под ред. акад. В.Н. Сукачева и д-ра биол. наук Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. 574 с.

Fundamentals of Forest Biogeocenology. Ed. by Academician V.N. Sukachev and Doctor of Biology N.V. Dylis. Moscow, Nauka Publ., 1964. 574 p. (In Russ.).

13. Панов А.Н. Влияние освещенности на подрост кедр сибирского в различных типах леса // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 11. С. 973–975.

Panov A.N. Influence of Light Conditions Indifferent Forest Types on *Pinus sibirica* Seedling. *Optika atmosfery i okeana = Atmospheric and Oceanic Optics*, 2006, vol. 19, no. 11, pp. 973–975. (In Russ.).

14. Феклистов П.А., Соболев А.Н. Световой режим в древостоях разного породного состава на Соловецких островах // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2013. № 3. С. 93–100.

Feklistov P.A., Sobolev A.N. Light Conditions in Stands of Different Species Composition on the Solovetsky Islands. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Humanitarian and Social Sciences"*, 2013, no. 3, pp. 93–100. (In Russ.).

15. Хильми Г.Ф. Теоретическая биогеофизика леса / АН СССР. Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. М.: АН СССР, 1957. 206 с.

Hilmi G.F. *Theoretical Biogeophysics of Forests*. Moscow, AN SSSR Publ., 1957. 206 p. (In Russ.).

16. Шарый П.А., Шарая Л.С., Сидякина Л.В., Саксонов С.В. Влияние солнечной энергии и сомкнутости крон деревьев на богатство видов травянистой растительности юга лесостепи // Сиб. экол. журн. 2017. Т. 24, № 5. С. 539–552.

Shary P.A., Sharaya L.S., Sidiyakina L.V., Saksonov S.V. Influence of Solar Energy and Tree Crown Closure on Species Richness of Herbage in the South of Forest-Steppe. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal* = Contemporary Problems of Ecology, 2017, vol. 24, no. 5, pp. 539–552. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SEJ20170502>

17. Яковлев А.А., Виноградова Е.А., Ануфриев М.В., Крылов И.А., Брагин В.Д. Влияние освещенности под пологом древостоя на проецированное покрытие живого напочвенного покрова и численность подроста // Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы VI Междунар. молодежн. науч.-практ. конф. СПб.: Реноме, 2022. С. 186–189.

Yakovlev A.A., Vinogradova E.A., Anufriev M.V., Krylov I.A., Bragin V.D. Influence of the Light Under the Canopy on the Propagation Cover of the Living Ground Cover and the Number of Undergrowth. *The Actual Issues in Forestry: International Youth Scientific-Practical Conference*. Saint Petersburg, 2022, pp. 186–189. (In Russ.).

18. Bormann F.H., Likens G.E. *Pattern and Processes in a Forested Ecosystem*. New York, Springer, 1979. 253 p.

19. Gueymard C.A. REST2: High-Performance Solar Radiation Model for Cloudless-Sky Irradiance, Illuminance, and Photosynthetically Active Radiation – Validation with a Benchmark Dataset. *Solar Energy*, 2008, vol. 82, iss. 3, pp. 272–285.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.04.008>

20. Jones H.G., Archer N., Rotenberg E., Casa R. Radiation Measurement for Plant Ecophysiology. *Journal of Experimental Botany*, 2003, vol. 54, iss. 384, pp. 879–889.

<https://doi.org/10.1093/jxb/erg116>

21. Kobayashi H., Baldocchi D.D., Ryu Y., Chen Q., Ma S., Osuna J.L., Ustin S.L. Modeling Energy and Carbon Fluxes in a Heterogeneous Oak Woodland: A Three-Dimensional Approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, vol. 152, pp. 83–100.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.09.008>

22. Lee H., Slatton K.C., Roth B.E., Cropper W.P. Prediction of Forest Canopy Light Interception Using Three-Dimensional Airborne LiDAR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, vol. 30, pp. 189–207. <https://doi.org/10.1080/01431160802261171>

23. Musselman K.N., Margulis S.A., Molotch N.P. Estimation of Solar Direct Beam Transmittance of Conifer Canopies from Airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 2013, vol. 136, pp. 402–415. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.021>

24. Promis Á. Measuring and Estimating the Below-Canopy Light Environment in a Forest: A Review. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 2013, vol. XIX, iss. 1, pp. 139–146. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.02.014>

25. Promis A., Schindler D., Reif A., Cruz G. Solar Radiation Transmission in and Around Canopy Gaps in an Uneven-Aged *Nothofagus betuloides* Forest. *International Journal of Biometeorology*, 2009, vol. 53, pp. 355–367. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0222-7>

26. Seidel D., Fleck S., Leuschner C. Analyzing Forest Canopies with Ground-Based Laser Scanning: A Comparison with Hemispherical Photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, vol. 154–155, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.006>

27. Yamamoto K., Murase Y., Etou C., Shibuya K. Estimation of Relative Illuminance Within Forests Using Small-Footprint Airborne LiDAR. *Journal of Forest Research*, 2015, vol. 20, iss. 3, pp. 321–327. <https://doi.org/10.1007/s10310-015-0484-3>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest

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

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