



37. Forest stand structure and functioning: Current knowledge and future challenges. *Ecological Indicators*, 2019, vol. 98, pp. 665–677. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.017>.
38. Kubin E. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in Northern Finland (64°29' N). *Acta forest. Fenn*, 1977, vol. 155, pp. 1–40.
39. Litton C.M., Raich J.W., Ryan M.G. Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology*, 2007, vol. 13, pp. 2089–2109.
40. Plyusnina S.N., Kuznetsov M.A. A Influence of industrial felling on the structure of spruce undergrowth needles. *Biology Bulletin*, 2025, vol. 52, no. 8, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1062359024608851>.
41. Verkerk P.J., Costanza R., Hetemäki L., Kubiszewski I., Leskinen P., Nabuurs G.J., Potočník J., Climate-Smart M. Forestry: the missing link. *Palahī Forest Policy and Economic*, 2020, vol. 115, no. 102164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102164>.
42. Yang Y., Luo Y., Finzi A.C. Carbon and nitrogen dynamics during forest stand development: a global synthesis. *New Phytologist*, 2011, vol. 190 (4), pp. 977–989. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03645>.

Статья поступила в редакцию 14.02.2026

DOI: 10.21178/2079-6080.2026.1.39
УДК 630*581.4

Параметры ассимиляционного аппарата у подроста сосны и ели и транспирация хвои на Большом Соловецком острове

© П.А. Феклистов^{1,3}, А.Н. Соболев², И.Н. Болотов¹, С.Н. Тарханов¹, О.Н. Тюкавина³, Ж.А. Бруева³

Parameters of the assimilation apparatus in pine and spruce undergrowth and pine needles transpiration on Bolshoy Solovetsky island

P.A. Feklistov, A.N. Sobolev, I.N. Bolotov, S.N. Tarkhanov, O.N. Tukavina, J.A. Brueva (N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; The Solovetsky State Historical, Architectural and Natural Museum-Reserve is a federal state cultural institution, historical, architectural and ethnographic museum-reserve; The Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov)

The study was carried out on Bolshoy Solovetsky Island on a stand of pine and spruce, which was located under the canopy of the most represented types of forest in pine forests and spruce forests. The study of the assimilation apparatus was carried out on specimens of undergrowth from different altitude groups from the immaculately reliable category. Transpiration was determined by rapid weighing. It was found that the needles of the pine undergrowth have a length of 22–27 mm. The largest length is in blueberry and sphagnum pine forests, and the smallest is in lichen and moss-lichen pine forests. The weight of the average needles is 11–15 g. The width and thickness vary slightly, the width is in the range of 1–1.3 mm, the thickness 0.5–0.6 mm. It is shown that spruce needles have a length of 12–13 mm, the largest in blueberry pine, and the smallest in blueberry spruce. The mass of the average needles is 6–8 g. The results of measuring the transpiration of pine and spruce undergrowth are presented, they are considered in three units of measurement: mg/g • hour; g/m² • hour; and relative transpiration % (ratio of transpiration to free physical evaporation). It was revealed that the transpiration of needles in pine undergrowth varied on different days and in different types of forest from 11 to 43 g/sq. m • hour, and in spruce undergrowth 9–11 g/sq. m • hour. The relative transpiration of pine undergrowth in different types of forest varied from 7 to 18 % of the value of physical evaporation. Annual needles evaporate moisture with an intensity of 23–26 %, and two-year-old needles evaporate 13–17 %. The relative

transpiration of spruce undergrowth in most forest types is in the range of 11–22 %. Annual needles evaporate moisture more intensively in blueberry spruce and sphagnum pine, while in others the relative transpiration of one- and two-year-old needles is close. It was found that the type of forest has no effect on the transpiration of pine undergrowth.

Keywords: transpiration of trees, evaporation, assimilation apparatus, pine, spruce, type of forest

Параметры ассимиляционного аппарата у подроста сосны и ели и транспирация хвои на Большом Соловецком острове

П.А. Феклистов, А.Н. Соболев, И.Н. Болотов, С.Н. Тарханов, О.Н. Тюкавина, Ж.А. Бруева

Исследование выполнено на Большом Соловецком острове на подросте сосны и ели, который располагался под пологом наиболее представленных типов леса в сосняках и ельниках. Изучение ассимиляционного аппарата проводилось на экземплярах подроста из разных высотных групп, относящихся к категории безукоризненно благонадежных. Транспирация определялась методом быстрого взвешивания.

Установлено, что хвоя у подроста сосны имеет длину 22–27 мм. Наибольшая длина – в сосняках черничном и сфагновом, а наименьшая – в сосняках лишайниковом и мохово-лишайниковом. Масса средней хвоинки сосны 11–15 г. Ширина и толщина различаются незначительно, ширина находится в пределах 1–1,3 мм, толщина – 0,5–0,6 мм. Хвоя ели имеет длину 12–13 мм, наибольшая – в сосняке черничном, а наименьшая – в ельнике черничном. Масса средней хвоинки ели – 6–8 г. Транспирация хвои у подроста сосны изменялась в разные дни и в разных типах леса от 11 до 43 г/кв. м • ч, а у подроста ели – 9–11 г/кв. м • ч. Относительная транспирация (отношение транспирации к свободному физическому испарению, %) подроста сосны в разных типах леса изменялась от 7 до 18 %. Однолетняя хвоя испаряет влагу с интенсивностью 23–26 %, а двухлетняя – 13–17 %. Относительная транспирация у подроста ели в большинстве типов леса находится в пределах 11–22 %. Однолетняя хвоя испаряет влагу интенсивнее в ельнике черничном и сосняке сфагновом, а в других условиях относительная транспирация одно- и двухлетней хвои близки. Установлено, что тип леса не оказывает влияния на транспирацию подроста сосны.

Ключевые слова: транспирация, подрост, испарение, ассимиляционный аппарат, сосна, ель, тип леса

Феклистов Павел Александрович – гл. науч. сотр. лаборатории приарктических лесных экосистем, профессор каф. биологии, экологии и биотехнологии, д-р с.-х. наук
E-mail: pfeklistov@yandex.ru

Соболев Александр Николаевич – старший науч. сотр., канд. с.-х. наук
E-mail: alex-sobol@mail.ru

Болотов Иван Николаевич – директор центра, член-корреспондент РАН, д-р биол. наук
E-mail: inepras@yandex.ru

Тарханов Сергей Николаевич – зав. лабораторией приарктических лесных экосистем, д-р биол. наук
E-mail: tarkse@ya.ru

Тюкавина Ольга Николаевна – профессор каф. биологии, экологии и биотехнологии, д-р с.-х. наук
E-mail: o.tukavina@narfu.ru

Бруева Жанна Алексеевна – аспирант
E-mail: bruevazh@bk.ru

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврёва УрО РАН
163000, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20
E-mail: dimnauka@fciaarctic.ru

²Соловецкий музей-заповедник
164070, Архангельская обл., Приморский р-н, пос. Соловецкий
E-mail: museum@solovky.ru; alex-sobol@mail.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17
E-mail: public@narfu.ru

Введение

Ассимиляционный аппарат является важной физиологически активной частью древесных растений, который обеспечивает все основные функции и прежде всего продукционный процесс, а также определяет устойчивость к неблагоприятным факторам среды. Несмотря на целый ряд публикации по этой теме [20, 21, 23 и мн. др.], степень его изученности на Севере недостаточна. Не учитывается, что изолированные лесные экосистемы, располагающиеся на островах, имеют свои особенности, а также не рассматривается роль подростка хвойных.

Необходимо отметить, что нормальное функционирование ассимиляционного аппарата возможно лишь при оптимальном водоснабжении, что обеспечивается главным образом транспирацией. Именно благодаря транспирации попадают в хвою вода и минеральные элементы – всё то, что необходимо для синтеза органических и физиологически активных веществ. Хотя этому вопросу уделялось внимание исследователей [14], но в недостаточной мере. На транспирацию влияет множество факторов и прежде всего – клима-

тических (влажность воздуха, освещённость, температура и т. п.) [10, 13], а также содержание влаги в почве [25, 26]. Вместе с тем от транспирации во многом зависит сбалансированность водного транспорта у деревьев [9, 24]. К сожалению, данных по влиянию на транспирацию типа леса, являющегося комплексным показателем, учитывающим и древостой, и доминанты напочвенного покрова, и почвы, и микроклимат, крайне мало.

Очевидно, что физиологические процессы, связанные с водным режимом деревьев на Севере, изучены в незначительной степени и особенно в изолированных островных популяциях, какими являются леса Соловецкого архипелага. В связи с этим целью нашего исследования являлось определение параметров и транспирации хвои подростка сосны и ели в наиболее распространенных типах леса Большого Соловецкого острова.

Материалы и методика исследований

Исследования проводились в типичных для Большого Соловецкого острова сосняках и ельниках, охватывающих наиболее характерные типы леса (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях (о. Большой Соловецкий, 2024 г.)

№ ПП	Тип леса	Состав	D, см	H, м	Порода	Полнота		A, лет	Запас, м ³ /га
						Абс., м ² /га	Отн.		
1–80	Сосняк мохово-лишайниковый	10С	24,7	10,4	С	15,4	0,66	191	83
3–1	Сосняк черничный	7С2Е ед. Б	25,4	9,8	С	8,7	0,37	150	47
					Е	2,6	0,12	-	14
4–7	Ельник черничный	7Е2Б1Ос	19,1	10,9	Е	11,4	0,52	82	69
					Ос	1,1	0,05	-	6
5–99	Сосняк сфагновый	10С ед. Е	16,3	8,9	С	12,2	0,56	125	61
6–116	Сосняк лишайниковый	10С ед. Е	14,5	7,0	С	12,4	0,65	85	51

Примечание. Класс бонитета на всех участках – Va.

По составу сосняки чаще всего или чистые или с небольшой примесью ели до 2 единиц в сосняке черничном. Ельник черничный более разнообразен по составу, здесь кроме главной породы присутствуют береза и осина. В более бедных группах – сфагновых и лишайниковых – древостои чистые и лишь единично присутствуют другие породы. В ельниках черничных состав – типичный для северотаежных лесов, доминирует ель, но дополнительно входит и береза и осина.

В таблице указан средний возраст, но, безусловно, древостои на пробных площадях все разновозрастные. Это было уже показано ранее [16] и получило дополнительное подтверждение при изучении прироста и измерении ширины годичных колец. При нахождении в лесах обращает на себя внимание наличие деревьев довольно больших диаметров при низкой высоте. Это типично для объекта исследования и нашло отражение в литературе [15]. На пробных площадях видно то же самое: задержка в росте в высоту при нормальном росте по диаметру. Причины данно-

го явления не ясны, но можно предполагать, что это связано с ветровым режимом, поскольку наблюдается и на других островах Белого моря, например, на о. Ягры [4]. В связи с этим существующие таблицы хода роста неприменимы для лесов на Соловецких островах.

Древостои всех пробных площадей можно отнести к среднеполнотным. Важным моментом являются низкие запасы древесины главных пород: они не превышают 83 м³/га для сосны и 69 м³/га – для ели.

Пробные площади закладывали в соответствии с общепринятыми методиками и рекомендациями [1, 5, 7, 18, 19], а также с учетом статуса лесных территорий как музея-заповедника. На пробных площадях выполняли комплекс работ по их лесоводственному, таксационному и геоботаническому описанию.

Транспирация изучалась на подросте сосны и ели разных высотных групп, относящегося к категории безукоризненно благонадежных, по И.С. Мелехову [12]. (табл. 2).

Таблица 2
Характеристика учетных деревьев подростка для измерения транспирации хвои

№ ПП	Тип леса	Порода	Номер дерева	Диаметр у шейки корня, см	Высота, м	Длина кроны, см	Ширина кроны, см
3–1	С. чер.	С	1	5,0	3,9	193	116
			2	1,5	0,5	32	27
			3	7,0	4,1	180	114
4–7	Е. чер.	С	4	2,7	1,0	79	80
			1	3,8	1,6	85	122
6–116	С. лиш.	С	2	2,5	1,1	64	100
			1	6,0	3,3	228	124
			2	1,2	0,5	41	43
1–80	С. м.-лиш.	С	3	2,5	1,4	74	77
			4	4,0	1,4	110	155
5–99	С. сф.	С	1	4,5	3,0	114	65
			2	2,3	1,2	67	64
			3	1,5	0,5	35	38
5–99	С. сф.	С	1	2,0	1,2	105	64
			2	5,5	2,5	130	85
			3	2,2	1,3	89	80
5–99	С. сф.	Е	4	3,0	4,0	160	75
			5	5,0	1,3	107	110

Для изучения транспирации использовался метод быстрого взвешивания [8]. Всего было отобрано 18 экземпляров подростка, в том числе 15 – сосны, 3 – ели. Исследования проводились с 17 по 20 июля 2024 года, в период времени с 11 по 13 ч. Параллельно выполнялись замеры освещенности, температуры воздуха, влажности воздуха и скорости ветра. Относительная влажность воздуха была в пределах 60–70 %, ветер практически отсутствовал, его скорость в среднем составляла 0,4–0,5 м/сек. Освещенность заметно варьировала по дням и типам леса от 8 до 20 тыс. лк. Также на соответствующих пробных площадях определялась интенсивность свободного испарения в стаканчике с водой для расчета в последующем относительной транспирации.

После проведения замеров хвои с побегов обрывалась, взвешивалась, а также определялись параметры хвои (длина, ширина и толщина). Взвешивание образцов однолетней и двухлетней хвои производили на весах PS-20 с точностью $\pm 0,001$ г, в 2–4-кратной повторности. Всего таким образом было выполнено

около 1200 взвешиваний и измерений. Для определения площади средней хвоинки использовались формулы Л.А. Иванова (по: [2]): для сосны: $S = 5,14l \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4}\right)$; для ели:

$$S = 2l\sqrt{a^2 + b^2},$$

где l – длина хвоинки, мм;

a – толщина хвоинки, мм;

b – ширина хвоинки, мм.

При математической обработке материалов использовались стандартные программы Microsoft [3].

Результаты и их обсуждение

Измерение параметров хвои у подростка сосны в разных типах леса показало, что наибольшая длина средней хвоинки – в сосняке черничном и сосняке сфагновом, она составляет 26,1 и 26,9 мм соответственно (табл. 3). В сосняке лишайниковом и сосняке мохово-лишайниковом она уменьшается до 22–23 мм. Различия статистически недостоверны, критерий Стьюдента меньше критического для уровня значимости 0,05.

Таблица 3

Параметры средней хвоинки подростка сосны в разных типах леса						
№ ПП	Тип леса	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь, мм ²	Масса, мг
3–1	С. чер.	26,1 ± 1,7	1,3 ± 0,0	0,6 ± 0,0	87,6 ± 7,9	15,2 ± 1,5
6–116	С. лиш.	23,1 ± 1,4	1,2 ± 0,0	0,6 ± 0,0	68,5 ± 4,3	10,9 ± 0,8
1–80	С. мох.-лиш.	22,0 ± 1,9	1,3 ± 0,0	0,5 ± 0,0	67,3 ± 6,9	11,7 ± 1,9
5–99	С. сф.	26,9 ± 1,2	1,1 ± 0,0	0,5 ± 0,0	76,1 ± 4,4	10,5 ± 0,8

Показатели ширины и толщины более стабильны во всех типах леса. Ширина колеблется от 1,1 до 1,3 мм, толщина 0,5–0,6 мм, при этом различия достоверны. Соответствует параметрам хвои и площадь, в основном пропорционально длине. Самая большая площадь – у подростка в сосняке черничном 87,6 мм², а самая маленькая – в сосняке мохово-лишайниковом. Масса средней хвоинки в сосняке лишайниковом, мохово-лишайниковом и сфагновом имеют близкие значения (11–12 мг), а в сосняке черничном – заметно выше (15,2 мг).

Все показатели достоверны при уровне значимости 0,05. Полученные данные согласуются с ранее определенными для взрослых деревьев сосны в сосняке черничном на Соловках [17], то есть параметры ассимиляционного аппарата подростка такие же, как у сформировавшихся деревьев и, по-видимому, определяются наследственными причинами.

Интересно сравнение характеристик хвои ели в сосняках тех же типов леса (за исключением сосняка мохово-лишайникового, где подрост ели отсутствовал). Несмотря на раз-

ные условия местопроизрастания, значения параметров очень близки. Наибольшие различия характерны для длины хвоинки: самое

большое значение – в сосняке черничном (13,4 мм), а самое малое – в сосняке сфагновом (12,1 мм) (табл. 4).

Таблица 4

Параметры средней хвоинки подростка ели в разных типах леса*						
№ ПП	Тип леса	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь, мм ²	Масса, мг
3–1	С. чер.	13,4	1,0	1,0	38,5	6,9
6–116	С. лиш.	12,8	0,9	0,9	33,3	5,3
5–99	С. сф.	12,1	1,0	1,0	35,2	7,5
4–7	Е. чер.	11,8	0,7	0,7	32,6	5,6

Примечания. *Ошибки среднего не рассчитаны, поскольку были единичные деревья или их слишком мало.

Ширина и толщина средней хвоинки ели характеризуются очень малыми величинами, их значения близки, и соответственно площадь больше в сосняке черничном – пропорционально длине. Результаты по массе также не сильно различаются, но наибольшая ее величина характерна для сосняка сфагновом. Это, по-видимому, связано с содержанием воды в хвое, так как линейные параметры хвои в этом типе леса меньше, чем в черничном и лишайниковом. Самый маленький вес средней хвоинки характерен для ельника черничного, где он составляет 5,6 мг.

Изучение транспирации подростка сосны под пологом древостоев в разных типах леса показало, что наибольшие показатели наблюдаются в сосняке мохово-лишайниковом – 43,9 г/м²·ч (что соответствует 278 мг/г·ч). Далее по убыванию идут сосняк сфагновый, лишайниковый и черничный. Самая низкая транспирация – в сосняке черничном – 10,9 г/м²·ч (77 мг/г·ч) (рис. 1).

Следует, однако, заметить, что хотя транспирация определялась в одно и то же время суток (с 11 до 13 ч), но в разные даты (с 17 по 20 июля 2024 г.), сравнение полученных значений не совсем корректно, поскольку погодные условия несколько отличались и по освещенности, и по температуре, и по влажности

воздуха (в меньшей степени). Тем не менее, эти данные дают представление о величинах транспирации.

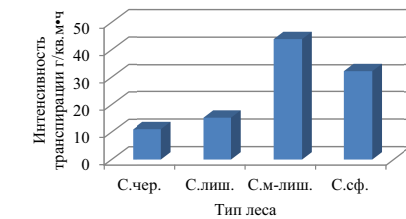


Рис. 1. Транспирация подростка сосны в разных типах леса

Показатели транспирации в молодяке сосны в Московской области составляют в среднем 142 мг/г·ч [22]; в северной подзоне тайги в середине лета в разных типах леса у деревьев сосны они находились в пределах 100–120 ... 400–500 мг/г·ч [21]. Процесс транспирации зависит от многих факторов, в основном от влажности воздуха, освещенности, температуры, скорости ветра [23], но также от уровня грунтовых вод [6] и от содержания минеральных элементов в почве. Так, по данным В.Н. Коновалова и Л.В. Зарубиной [11], внесение удобрений замедляет интенсивность испарения хвоей.

Сравнение транспирации подростка ели и сосны в сосняке черничном, измеренной в одинаковые сроки, показывает, что интенсивность процесса у ели заметно ниже. Она составила у сосны $11,0 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ ($60 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$) и у ели — $8,2 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ ($43 \text{ мг/г} \cdot \text{ч}$).

Величины транспирации у подростка сосны и ели в условиях Большого Соловецкого острова оказались в целом меньше, чем в северной подзоне тайги Архангельской области [21] и средней подзоне тайги Коми [14]. Для объективной оценки желательнее было бы сравнивать относительную транспирацию, но, к сожалению, такие данные приводятся крайне редко. Можно предположить, что эта разница сохраняется и у взрослых деревьев. Косвенно это подтверждают запасы древесины в изученных древостоях (см. табл. 1). Они крайне низки, а как было показано, продуктивность деревьев и древостоев напрямую связана с транспирацией [13].

Чтобы получить более объективные данные в разных типах леса мы использовали такой показатель как относительная транспирация, то есть её отношение к интенсивности свободного испарения воды, которое измерялось параллельно, при взвешивании стаканчика с водой. Самые высокие значения расчетного показателя наблюдались в сосняке сфагновом — 18 %, близко к этому — в сосняке черничном и мохово-лишайниковом — 16 и 15 % соответственно, а самые низкие — в сосняке лишайниковом — около 6 % (рис. 2).

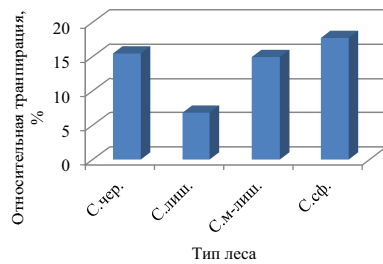


Рис. 2. Относительная транспирация подростка сосны в разных типах леса

В большинстве случаев на учетных деревьях подростка сосны и ели транспирация однолетней хвои была выше, чем двухлетней: у сосны это наблюдалось в 85 % случаев, а у ели — в 80 %. Эта закономерность проявлялась в разных типах леса и в разные дни с отличающимися внешними факторами (температура, освещенность, влажность воздуха, скорость ветра).

Однолетняя хвоя подростка сосны испаряет воду более интенсивно, чем двухлетняя во всех типах леса (рис. 3). В сосняке черничном, сфагновом и мохово-лишайниковом однолетняя хвоя сосны транспирирует с интенсивностью 23–26 %, а двухлетняя — 13–17 % от свободного физического испарения. Самые низкие показатели — в сосняке лишайниковом: 9 и 5 % соответственно.

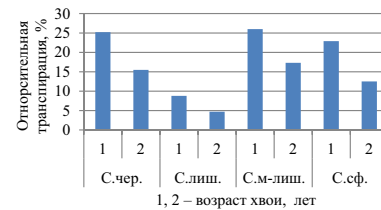


Рис. 3. Относительная транспирация одно- и двухлетней хвои подростка сосны в разных типах леса

Сравнение относительной транспирации 1- и 2-летней хвои ели в разных типах леса свидетельствует о том, что в ельнике черничном и сосняке сфагновом больше испаряет влаги однолетняя хвоя, а в сосняке черничном и лишайниковом — двухлетняя хвоя. (рис. 4).

Обращает на себя внимание высокая интенсивность относительной транспирации подростка ели в ельнике черничном по сравнению с другими типами леса. При этом она у 1-летней хвои достигает 95 % от физического испарения, а у двухлетней — 56 %. С чем это связано, пока не ясно и требует дальнейших исследований, так как полученные результаты резко отличаются.

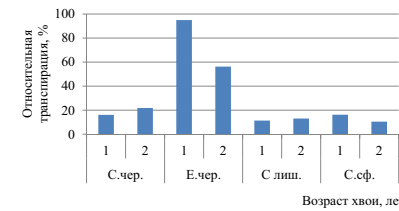


Рис. 4. Относительная транспирация одно- и двухлетней хвои подростка ели в разных типах леса

В среднем относительная транспирация подростка везде невелика, она значительно меньше физического испарения и составляет в сосняках от 7 до 19 % его величины (рис. 5). Исключение составляет ель в ельнике черничном (как это уже отмечалось нами ранее), где значение расчетного показателя составляет 68 %.

Дисперсионный анализ полученных данных показал, что условия произрастания (тип леса) не оказывают влияния на транспирацию подростка сосны (табл. 5).

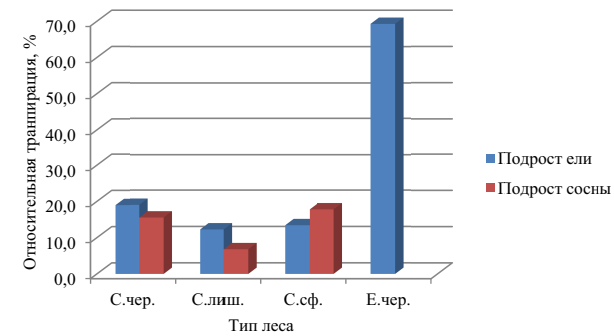


Рис. 5. Относительная транспирация подростка сосны и ели в разных типах леса (в ельнике черничном подростка сосны не было)

Таблица 5
Влияние типа леса на относительную транспирацию подростка сосны

Источник вариации	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Дисперсия	F	F критическое для уровня значимости 0,05
Межгрупповая	558,00	3	186,00	2,98	3,16
Внутригрупповая	1122,88	18	62,38		
Итого	1680,89	21			

В данном случае критерий Фишера равен 2,98, что заметно меньше критического значения 3,16 для уровня значимости 0,05. При сравнении относительных величин исключался элемент субъективизма в анализе, так как транспирация, как уже было показа-

но, проводилась примерно в одно время, но в разные дни.

Еще одним важным моментом является выбор единиц измерения транспирации. В литературе принято использовать g испаренной воды на 1 м^2 площади хвои за 1 ч и нередко — mg

испаренной воды на 1 г сырой массы за 1 ч. Последнее получить проще. Однако очевидно, что испарение происходит с поверхности хвои. Это кутикулярная транспирация и главным образом – устьичная, где испарение происходит с поверхности клеток в межклетниках, и

затем водяной пар выходит через устьица. С этой точки зрения первая из применяемых единиц более объективна, но требует больших дополнительных измерений. Мы использовали и ту и другую единицы, что дало возможность оценить их взаимосвязь (рис. 6, 7).

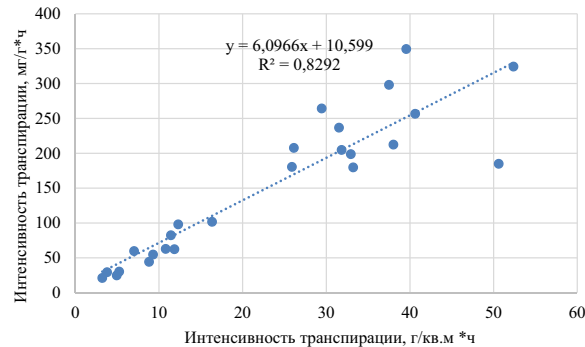


Рис. 6. Взаимосвязь разных показателей транспирации соснового подростка

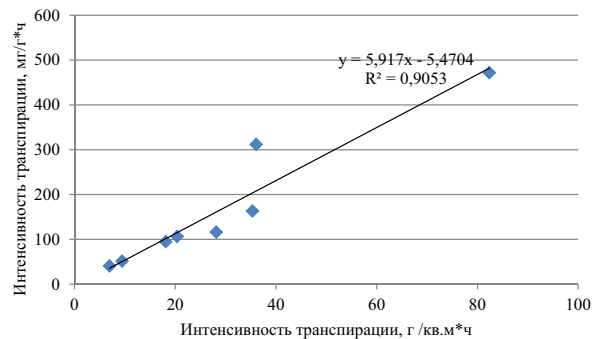


Рис. 7. Взаимосвязь разных показателей транспирации елового подростка

Полученные результаты позволяют переводить одни единицы измерения в другие при сравнении результатов исследования с литературными данными.

Выводы

В результате проведенного нами исследования можно сделать следующие выводы.

1. Хвоя у подростка сосны имеет длину 22–27 мм, которая отличается по типам леса: наибольшая – в сосняке черничном и сфагновом, наименьшая – в сосняках лишайниковом и мохово-лишайниковом. Ширина хвои – 1–1,3 мм, толщина – 0,5–0,6 мм, почти не отличаются по типам леса. Масса хвоинки составляет 11–15 г.

Хвоя у подростка ели имеет длину 12–13 мм, наибольшая – в сосняке черничном и наименьшая – в ельнике черничном. Ширина-толщина 0,7–1 мм. Масса хвоинки – 6–8 г.

2. Транспирация хвои у подростка сосны изменялась в разные дни и в разных типах леса от 11 до 43 г/м²·ч, а у подростка ели составляла 9–11 г/м²·ч.

3. Относительная транспирация подростка сосны в разных типах леса изменялась от 7 до 18 %. Однолетняя хвоя испаряет влагу с интенсивностью 23–26 %, а двухлетняя – 13–17 %.

Относительная транспирация подростка ели в большинстве типов леса находится в пределах 11–22 %, а в ельнике черничном со-

ставляет 69 %. Однолетняя хвоя испаряет влагу интенсивнее в ельнике черничном и сосняке сфагновом, а в других относительная транспирация одно- и двухлетней хвои близки по значениям.

4. Тип леса не оказывает влияния на транспирацию подростка сосны.

5. Получены уравнения, позволяющие переводить одни величины измерения транспирации в другие.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврёва УрО РАН (ГР № 125021902596–8).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Анучин, Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М. : Лесн. пром-сть, 1977. – 512 с.
- Базилевич, Н.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов, Л.Е. Родин, Н.Т. Нечаева, Ф.И. Левин. – М. : Мысль, 1978. – 183 с.
- Бондаренко, А.С. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований : Учебное пособие / А.С. Бондаренко, А.В. Жигунов. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2016. – 125 с.
- Бруева, Ж.А. Соотношение диаметров и высот деревьев сосны обыкновенной на острове Ягры / Ж.А. Бруева, Е.П. Верховцева, П.А. Феклистов // Научный альманах. – 2023. – № 9–2 (107). – С. 76–79. – URL: <https://ukonf.com/doc/na.2023.09.02.pdf> (дата обращения: 10.11.2025).
- Бурова, Н.В. Антропогенная трансформация пригородных лесов / Н.В. Бурова, П.А. Феклистов. – Архангельск : изд-во Арх. гос. техн. ун-та, 2007. – 264 с.
- Веретенников, А.В. Метаболизм древесных растений в условиях корневой аноксии / А.В. Веретенников. – Воронеж : изд-во ВГУ, 1985. – 152 с.
- Гусев, И.И. Лесная таксация : учебное пособие к проведению полевой практики / И.И. Гусев, В.И. Калинин. – Л. : ЛТА, 1988. – 61 с.
- Иванов, Л.А. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях / Л.А. Иванов, А.А. Силина, Ю.Л. Цельникер // Ботанический журнал. – 1950. – Т. 35, вып. 2. – С. 171–185.
- Кайбияйнен, Л.К. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. III. Площадь проводящей ксилемы и масса хвои / Л.К. Кайбияйнен, П. Хари, Т.А. Сазонова, А. Мякеля // Лесоведение. – 1986. – № 1. – С. 31–37.
- Крамер, П.Д. Физиология древесных растений : Пер. с англ. / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М. : Лесн. пром-сть, 1983. – 464 с.
- Коновалов, В.Н. Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах / В.Н. Коновалов, Л.В. Зарубина. – Архангельск : САФУ, 2011. – 338 с.
- Мелехов, И.С. Лесоведение / И.С. Мелехов – М. : Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.

13. Лир, Г. Физиология древесных растений / Г. Лир, Г. Польштер, Г.-И. Фидлер. – М. : Лесн. пром-сть, 1974. – 423 с.
 14. Сенькина, С.Н. Водный режим сосны и ели в фитоценозах Севера / С.Н. Сенькина. – Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2013 – 104 с.
 15. Соболев, А.Н. Относительная высота деревьев в изолированных популяциях сосновых древостоев / А.Н. Соболев, П.А. Феклистов, Н.А. Неверов, С.С. Макаров // Известия вузов. Лесной журнал – 2023. – № 6. – С. 102–113. – DOI: 10.37482/0536–1036–2023–2–26–37.
 16. Соболев, А.Н. Особенности строения сосновых древостоев на острове Большом Соловецком / А.Н. Соболев, П.А. Феклистов // Известия вузов. Лесной журнал. 2022. – № 1. – С. 77–87. – DOI: 10.37482/0536–1036–2022–1–77–87.
 17. Соболев, А.Н. Особенности ассимиляционного аппарата изолированных популяций сосны (Большой Соловецкий остров) / А.Н. Соболев, П.А. Феклистов, А.В. Грязькин, О.И. Гаврилова // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. – Т. 27, № 5. – С. 74–81. – ISSN 2542–1468. DOI: 10.18698/2542–1468–2023–5–74–81.
 18. Сукачев, В.Н. Методические указания к изучению типов леса / В.Н. Сукачев, С.В. Зонн. – М. : АН СССР, 1961. – 144 с.
 19. Сукачев, В.Н. Программа и методика биогеоценотических исследований / В.Н. Сукачев, Н.В. Дылис. – М. : Наука, 1966. – 332 с.
 20. Феклистов, П.А. Сравнительные эколого-биологические особенности сосны скрученной и обыкновенной в северной подзоне европейской тайги / П.А. Феклистов, С.Ю. Бирюков, А.Л. Федяев. – Архангельск : Арх. гос. тех. унив., 2008. – 118 с.
 21. Феклистов, П.А. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги / П.А. Феклистов, В.Н. Евдокимов, В.М. Барзут. – Архангельск : ИПЦ АГТУ, 1997. – 140 с.
 22. Хлебникова, Н.А. Физиологическая характеристика деревьев разной интенсивности роста в молодняке сосны / Н.А. Хлебникова // Физиология древесных растений. – М. : Изд. АН СССР, 1962. – С. 57–68.
 23. Бобкова К.С. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов европейского северо-востока / К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина, С.Н. Сенькина [и др.] – Сыктывкар : Коми науч. центр УрО РАН, 1993. – 176 с.
 24. Jones, H.G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration / H.G. Jones // J. Exp. Bot. (Spec. Issue.). – 1998. – Is. 49. – P. 387–398. – DOI: 10.1093/jxb/49.
 25. Kramer, P.J. Water relations of plants and soils / P.J. Kramer, J.S. Boyer. – San Diego, CA, USA, 1995. – 495 p.
 26. Varlagin, A.V. Influence of Extreme Soil Humidity Events on Transpiration, Evaporation and Carbon Balance of Boreal Forest in European Russia / A.V. Varlagin, N.N. Vygodskaya, J.A. Kurbatova // Climate Changes and Their Impact on Boreal and Temperate Forests (Ekaterinburg, June 5–7 2006) : Abstracts. Ekaterinburg, 2006. – P. 102–103.
- REFERENCES
1. Anuchin N.P. Forest taxation. Moscow, Forestry industry, 1977, 512 p. (In Russian).
 2. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Smirnov V.V., Rodin L.E., Nechaeva N.T., Levin F.I. Methods for studying biological circulation in various natural zones. Moscow, Idea. 1978, 183 p. (In Russian).
 3. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Statistical processing of forestry research materials. Textbook. St. Petersburg, Publishing house of the Polytechnic University, 2016, 125 p. (In Russian).
 4. Brueva Zh.A., Verkhovtseva E.P., Feklistov P.A. The ratio of diameters and heights of Scots pine trees on Yagry Island. *Scientific almanac [Nauchnyj al'manakh]*, 2023, no. 9–2 (107), pp. 76–79. URL: <https://ukonf.com/doc/na.2023.09.02.pdf> (date of access: 10.11.2025). (In Russian).
 5. Burova N.V., Feklistov P.A. Anthropogenic transformation of suburban forests. Arkhangelsk, publishing house of the Arkhangelsk state technical university, 2007, 264 p. (In Russian).
 6. Veretennikov A.V. Metabolism of woody plants under conditions of root anoxia. Voronezh, VSU Publishing House, 1985, 152 p. (In Russian).
 7. Gusev I.I., Kalinin V.I. Forest taxation. A tutorial for field practice. Leningrad, LTA, 1988, 61 p. (In Russian).
 8. Ivanov L.A., Silina A.A., Tselniker Yu.L. On the method of rapid weighing for determining transpiration under natural conditions. *Botanical Journal [Botanicheskij zhurnal]*, 1950, vol. 35, is. 2, pp. 171–185 (In Russian).
 9. Kaibaiinen L.K., Hari P., Sazonova T.A., Myakelya A. Balance of the water transport system in Scots pine. III. Area of conducting xylem and mass of needles. *Forest Science [Lesovedenie]*, 1986, no. 1, pp. 31–37. (In Russian).
 10. Kramer P.D., Kozlovsky T.T. Physiology of woody plants. Translated from English. Moscow, Forestry industry, 1983, 464 p. (In Russian).
 11. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Ecological and physiological characteristics of conifers on fertilized soils. Arkhangelsk, NArFU, 2011, 338 p. (In Russian).
 12. Melekhov I.S. Forestry. Moscow, Forest industry, 1980, 408 p. (In Russian).
 13. Lier G., Polster G., Fiedler G.-I. Physiology of woody plants. Moscow, Forestry industry, 1974, 423 p. (In Russian).
 14. Senkina S.N. Water regime of pine and spruce in phytocenoses of the North. Ekaterinburg, RIO UB RAS, 2013, 104 p. (In Russian).
 15. Sobelev A.N., Feklistov P.A., Neverov N.A., Makarov S.S. Relative height of trees in isolated populations of pine stands. *News of universities. Forestry journal [Izv. vuzov. Lesn. zhurn.]*, 2023, no. 6, pp. 102–113. DOI: 10.37482/0536–1036–2023–2–26–37. (In Russian).
 16. Sobelev A.N., Feklistov P.A. Features of the structure of pine stands on Bolshoy Solovetsky Island. *News of universities. Forestry journal [Izv. vuzov. Lesn. zhurn.]*, 2022, no. 1, pp. 77–87. DOI: 10.37482/0536–1036–2022–1–77–87. (In Russian).
 17. Sobelev A.N., Feklistov P.A., Gryazkin A.V., Gavrilova O.I. Features of the assimilation apparatus of isolated pine populations (Bolshoy Solovetsky Island). *Forestry Bulletin [Lesnoj vestnik]*, 2023, vol. 27, no. 5, pp. 74–81. ISSN 2542–1468. DOI: 10.18698/2542–1468–2023–5–74–81. (In Russian).
 18. Sukachev V.N., Zonn S.V. Methodological guidelines for the study of forest types. Moscow, USSR Academy of Sciences. 1961, 144 p. (In Russian).
 19. Sukachev V.N., Dylis N.V. Program and methodology of biogeocenological research. Moscow, Science, 1966, 332 p. (In Russian).
 20. Feklistov P.A., Biryukov S.Yu., Fedyayev A.L. Comparative ecological and biological characteristics of lodgepole and Scots pine in the northern subzone of the European taiga. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University, 2008, 118 p. (In Russian).
 21. Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. Biological and ecological features of pine growth in the northern subzone of the European taiga. Arkhangelsk, IPC ASTU, 1997, 140 p. (In Russian).
 22. Khlebnikova N.A. Physiological characteristics of trees with different growth rates in young pine forests. *Physiology of woody plants [Fiziologiya drevesnykh rastenij]*. Moscow, Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1962, pp. 57–68. (In Russian).



23. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Senkina S.N., Galenko Eh.P., Zagirova S.V. Ecological and physiological foundations of productivity of pine forests of the European northeast. Syktyvkar, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1993, 176 p. (In Russian).
24. Jones H.G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *J. Exp. Bot. (Spec. Issue)*, 1998, no. 49, pp. 387–398. DOI: 10.1093/jxb/49.
25. Kramer P.J., Boyer J.S. Water relations of plants and soils. San Diego, CA, USA, 1995, 495 p.
26. Varlagin A.V., Vygodskaya N.N., Kurbatova J.A. Influence of Extreme Soil Humidity Events on Transpiration, Evaporation and Carbon Balance of Boreal Forest in European Russia. *Climate Changes and Their Impact on Boreal and Temperate Forests (Ekaterinburg, June 5–7 2006): Abstracts*. Ekaterinburg, 2006, pp. 102–103.

Статья поступила в редакцию 17.11.2025

DOI: 10.21178/2079–6080.2026.1.53
УДК 630*181.2: 630*161.4

Влияние температуры и осадков за вегетационный сезон на прирост ранней древесины ели европейской (на примере Лисинской части учебно- опытного лесничества Ленинградской области)

© А.С. Алексеев, А. Юнес

The influence of temperature and precipitation during the growing season on the increment of early wood of Norway spruce (case study for Lisino part of the educational and experimental forest district of the Leningrad region)

A.S. Alekseev, A. Younes (Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov)

The article uses dendrochronology methods to study the effect of temperature and precipitation during the growing season on the growth of the early part of the annual tree rings of Norway spruce tree stands located on the lands of the forest fund of the Lisino part of the Educational and Experimental Forest District of the Leningrad region. The study was conducted on 5 test areas laid in stands of different age classes from young to mature and over-mature, where wood samples in the form of cores were taken from 20 trees in each test area. The width of the early part of the tree rings of the samples was measured using a LINTAB 6 workstation, and the measurement results were sent to the TSAP-Win™ application software package for further processing. The obtained dendrochronological series over a time interval of 50 years from 1974 to 2023 were studied for their ability to respond to a climate signal by calculating and analyzing sensitivity and synchronicity coefficients, as well as the signal-to-noise ratio SNR and the expressed population signal coefficient EPS. Statistical analysis of the dendrochronological series showed that they have a low level of sensitivity and synchronicity coefficients, while the EPS coefficient for 3 out of 5 sample areas was higher than the threshold value of 0.85, which indicates that the climate signal