

Научная статья

УДК 630*181.7:630*231.332:630*174.7.754

DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-115-126

Влияние удобрений на суточный рост сосны на торфяно-болотных почвах

Л.В. Зарубина, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAG-8579-2021](https://orcid.org/0000-0003-3834-0521),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3834-0521>

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2. с. Молочное, г. Вологда, Вологодская обл., Россия, 160555; liliya270975@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.09.20 / Одобрена после рецензирования 20.12.20 / Принята к печати 12.01.21

Аннотация. Цель исследования – выявление влияния азота на суточный рост и интенсивность физиологических процессов у сосны. Работы проводились в 2017–2018 гг. в северотаежной зоне Архангельской области. Опытным объектом служил 33-летний кустарничково-сфагновый сосняк (64°45' с. ш.), сформировавшийся из подроста сосны после вырубki материнского древостоя. Установлено, что на Севере в сфагновых лесорастительных условиях рост сосны в высоту имеет максимальную скорость в вечерние (сумеречные) и ночные часы. Наибольшая интенсивность физиологических процессов отмечается в светлое время суток: в результате повышенного фотосинтеза дерево получает необходимые для нормального роста энергопластические вещества. В отличие от лишайниковых сосняков, в которых корни не подвержены действию заболачивания, в избыточно увлажненных кустарничково-сфагновых сосняках сосна растет значительно медленнее и в течение суток имеет менее выраженную, чем в сосняках лишайниковых, интенсивность физиологических процессов. Низкая скорость роста и физиологических процессов у сосны в кустарничково-сфагновом сосняке обусловлена нарушением работы ее корневой системы в результате корневого анаэробнозиса, вызываемого затоплением. Постоянная избыточная влажность почвы и, как следствие, ее пониженная аэрация, подавляя поглотительную деятельность и синтетические процессы корней, снижают эффективное действие азота на рост сосны в этих условиях. Вносимые в кустарничково-сфагновые сосняки азотные удобрения в целом позитивно влияют на ростовые и физиологические процессы сосны, однако значительно слабее, чем в сухих лишайниковых борах. Под действием дозы N_{180} у сосны на 30 % усиливается суточный рост в высоту, существенно возрастает интенсивность фотосинтеза, в результате сокращения расхода воды на транспирацию нормализуется водный режим и повышается продуктивность транспирации. Эти позитивные изменения в ростовых и обменных процессах, происходящие под действием вносимых в древостой азотных удобрений, улучшают функциональную деятельность сосны и повышают (в случае дополнительного осушения) продуктивность избыточно увлажненных кустарничково-сфагновых сосняков.

Ключевые слова: сосняк кустарничково-сфагновый, сосна обыкновенная, суточный рост, физиологические процессы, уровень почвенно-грунтовых вод, азот, влияние удобрений

Для цитирования: Зарубина Л.В. Влияние удобрений на суточный рост сосны на торфяно-болотных почвах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 4. С. 115–126. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-115-126>

© Зарубина Л.В., 2022

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

Original article

Daily Pine Growth on Highmoor Peat Soil under the Influence of Fertilizers

Liliya V. Zarubina, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAG-8579-2021](https://orcid.org/0000-0003-3834-0521),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3834-0521>

Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Schmidta, 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; liliya270975@yandex.ru

Received on September 28, 2020 / Approved after reviewing on December 20, 2020 / Accepted on January 12, 2021

Abstract. The research aims at identifying the effect of nitrogen on daily growth and intensity of physiological processes in pine trees. The research was carried out in 2017–2018 in the north taiga zone of the Arkhangelsk region. A 33-year-old shrub-sphagnum pine forest (64° 45' N), formed of pine undergrowth after felling of a parent stand, served as an experimental object. It was found that in the North in the sphagnum forest site conditions, pine growth in height has a maximum rate in the evening (dusky) and night hours. The highest intensity of physiological processes in pine trees is observed in the daylight hours. As a result of increased photosynthesis, the tree receives the macronutrients necessary for normal growth. Unlike lichen pine forests, in which the roots are not affected by waterlogging, in excessively moistened shrub-sphagnum pine forests pine trees grow much slower and during the day have a less evident intensity of physiological processes than in lichen pine forests. The low growth rate and slow physiological processes of pine in shrub-sphagnum pine forest are due to the disturbance of its root system as a result of root anaerobiosis caused by flooding. Constant excessive soil humidity and, as a consequence, its reduced aeration, reduce the effective action of nitrogen on the growth of pine trees in these conditions, and at the same time inhibit the absorptive activity and synthetic processes of the roots. Nitrogen fertilizers applied to shrub-sphagnum pine forests have a generally positive effect on the growth and physiological processes of pine trees, but act much weaker than in dry lichen pine forests. Under the influence of the nitrogen dose N_{180} pine trees have a 30 % increase in daily growth in height, the intensity of photosynthesis increases significantly, and as a result of reduced water consumption for transpiration, the water regime is normalized and transpiration productivity increases. These positive changes in growth and metabolic processes, occurring under the influence of nitrogen fertilizers introduced into the stands, improve the functional activity of pine and increase (in the case of additional drainage) the productivity of excessively moistened shrub-sphagnum pine forests.

Keywords: shrub-sphagnum pine forest, Scots pine, daily growth, physiological processes, water table, nitrogen, impact of fertilizers

For citation: Zarubina L.V. Daily Pine Growth on Highmoor Peat Soil under the Influence of Fertilizers. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 4, pp. 115–126. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-4-115-126>

Введение

Леса Севера имеют экологическую и хозяйственную ценность, являются национальным богатством страны, важнейшим фактором природной среды, активно участвующим в биохимическом круговороте веществ. Известны их высокая заболоченность, бедность минеральными элементами, особенно подвижными формами [16, 17]. Согласно данным Архангельского лесоустроитель-



ного предприятия, в составе эксплуатационного фонда Архангельской области на долю лесов на гидроморфных почвах с участием сосны приходится 2/3 от общей площади лесов региона [16].

Происходящие в затопленной почве анаэробные процессы, изменяя газовый и питательный режим корнеобитаемой среды, нарушают синтетическую и поглотительную деятельность корней растений, взаимосвязи между побегами и корневой системой, вызывают торможение роста корней по отношению к росту надземных органов, скорости физиологических и ростовых процессов. У относительно приспособляющихся растений, произрастающих на затопленной почве, формируются признаки, обуславливающие определенную устойчивость к данным условиям [3, 9, 24]. В целях повышения продуктивности лесов во многих странах мира широко используется химическая и осушительная мелиорация [9, 10, 15]. В условиях затопленных почв наряду с наблюдением за ростовой активностью особую научную и практическую значимость приобретает изучение у древесных растений суточных и сезонных ритмов физиологической деятельности. Рассмотрением данного вопроса занимался ряд отечественных и зарубежных ученых [8, 10, 21]. Однако по обширному северному региону сведений о характере влияния удобрений на ростовые процессы сосны, произрастающей на затопленной почве, в научной литературе нет.

Цель исследования – изучение влияния азота на суточный рост и ход физиологических процессов у сосны в условиях затопления.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в 2017–2018 гг. в северотаежной зоне Архангельской области (64°45' с. ш.). Опытным объектом служил 33-летний кустарничково-сфагновый сосняк, сформировавшийся из подроста сосны после вырубки материнского древостоя. Опытный объект занимает значительную часть бывшего экспериментального участка «Опытное поле» академика И.С. Мелехова и относится к гидроморфному экологическому ряду лесов с избыточным увлажнением. В 1947 г. на участке ручным способом был вырыт одиночный осушительный канал, который давно разрушен, захламлен упавшими деревьями и не работает, движение воды в нем отсутствует.

Живой напочвенный покров участка мозаичный. Редкие мочажины перемежаются с бугристыми участками, занятыми моховой растительностью, синузиями багульника болотного (*Ledum palustre*), кассандры (*Chamaedaphne calyculata*), подбела обыкновенного (*Andromeda polifolia*), морошки (*Rubus chamaemorus*). Породный состав насаждения 10С, густота – около 2,0 тыс. экз./га, средняя высота сосны – 1,6 м. Почва – торфяно-перегнойная на мощных торфах верхового типа, заболачивание – более 3 м.

Для внесения удобрений подготовлены 2 опытные площадки размером по 30×30 м и контрольная. В центре каждой из 3 площадок для наблюдений за положением уровня почвенно-грунтовых вод (УПГВ) выкопано по 2 скважины, нулевые отметки на которых установлены согласно проведенной нивелировке. Для замера температуры почвы использованы коленчатые термометры Савинова.

Азотное удобрение в виде мочевины (содержание азота – 46 %) – наиболее эффективное азотное удобрение для лесов, значительно ускоряющее у

сосны рост, фотосинтез и транспорт ассимилятов [10–12] – было внесено вручную во влажную почву 5 июня 2017 г. в дозе 180 кг действующего вещества (д.в.) на 1 га. На каждой опытной площадке и в контроле подобрано по 10 наиболее перспективных, характеризующихся сходной величиной годичного прироста главных осевых побегов за последние годы деревьев сосны I и II классов роста (по Крафту).

Для удобства снятия замеров около каждой модели из подсобного материала изготовлены специальные подмости. Поскольку деревья небольшие и расположены далеко друг от друга, было решено удобрять не всю площадь пробы, а лишь отдельные деревья на ней. Согласно принятой в опыте дозе азота расчетами установлено, что для удобрения 1 дерева необходимо 1 кг (986 г) технического удобрения, или 460 г д.в. Почвенные анализы выявили содержание общего азота в торфяной залежи перед внесением удобрения: в слое 5–10 см – 2,01 %, в слое 10–20 см – 2,10 %. После внесения удобрения содержание азота в сентябре 2017 г. в указанных слоях торфа возросло соответственно до 2,58 и 2,50 %.

Ход суточного роста сосны в высоту определяли прямыми замерами и путем фотографирования с помощью смартфона на фоне плотно прикрепленной к стволу линейки. Интенсивность фотосинтеза изучали изотопным методом с использованием радиоуглеродной метки [2] с удельной радиоактивностью газовой смеси в замкнутой системе 0,2 МБк/л в 6-кратной повторности, интенсивность транспирации – методом быстрого взвешивания [6] в 12-кратной повторности, митохондриальное дыхание отделенных от дерева корней – методом учета выделяющегося CO_2 [2] в 8-кратной повторности. Небольшое время (0,5 ч), прошедшее после отделения корня от дерева, позволяло работать с корнем как с интактным [14]. Освещенность замеряли люксметром Ю116 М по 30–35 точкам, температуру и влажность воздуха – психрометром Ассмана в 3-кратной повторности, температуру почвы – колечатыми и срочными термометрами по 20 скважинам.

Исследования проводили в первые 2 года после внесения удобрений в периоды самых длинных на Севере световых дней. Замеры суточного роста главного побега и интенсивности физиологических процессов осуществляли через каждые 4 ч. Одновременно в эти же сроки оценивали положение УПГВ, освещенность, температуру воздуха и почвы. Визуально по наличию осадков и облачности неба определяли состояние погоды.

Результаты исследования и их обсуждение

Начало вегетационного периода 2017 г. характеризовалось относительно холодной погодой с частым выпадением осадков, иногда в виде снега. Май также был холодным и снежным. В 1-й половине июня дневная температура воздуха на опытном участке не поднималась больше 6–10 °С, ночная – больше 2–4 °С. Температура почвы в слое 0–10 см не превышала 3–5 °С. В ночные часы понизу, вдоль почвы, часто наблюдались слабые заморозки. УПГВ из-за медленного оттаивания почвы располагался в непосредственной близости от ее поверхности и лишь в отдельные сухие периоды в некоторых местах опускался ниже 8–12 см, поэтому корни сосны постоянно оставались затопленными или подтопленными.

Первые признаки набухания почек и разрушения на них покровных чехликов в этот год обозначились очень поздно, только к 10 июня – почти на 1 месяц позже обычных сроков. В литературе не раз отмечалось, что на Севере под влиянием ненастных погодных условий или при наступлении чрезвычайной ситуации возможен сдвиг начала и окончания роста сосны [4, 26]. В нашем опыте такой чрезвычайной ситуацией стала длительная холодная погода весной и в начале лета, а также затопление корней сосны.

Наблюдения за суточным ростом главного осевого побега сосны проводились 28 июня и 2–3 июля. Раньше начать исследования не позволяло отсутствие у сосны активного роста побегов по причине холодной и ненастной погоды. К 28 июня корнеобитаемый слой почвы все еще оставался подтопленным (9 см), влажность торфяного профиля в слое 5–10 см была высокая (92 %). Освещенность в дневные часы из-за постоянно облачного неба не превышала 16–24 тыс. лк, дневная температура воздуха – 13,0 °С, температура почвы в слое 5–10 см – 8,0 °С. Интенсивность фотосинтеза у прошлогодней хвои оказалась низкая – не более 12 мг CO₂/(г·ч) на площадках с азотом и не более 11 мг CO₂/(г·ч) в контроле. Дыхание мелких корневых окончаний на контрольном участке было 0,54 мг CO₂/(г·ч), на удобренных площадках – 0,59 мг CO₂/(г·ч).

Со 2 июля заметно потеплело. УПГВ понизился до 15 см. Влажность верхнего (5–10 см) слоя торфа уменьшилась до 87 %. Дневная температура воздуха повысилась до 22 °С, температура почвы в слое 5–10 см – до 13 °С. Дыхание мелких корневых окончаний в контроле возросло до 0,62 мг CO₂/(г·ч), на площадках с азотом – до 0,83 мг CO₂/(г·ч). Интенсивность фотосинтеза у 2-летней хвои под действием азота увеличилась до 17 мг CO₂/(г·ч), в контроле – до 14 мг CO₂/(г·ч). С этого периода начался активный рост молодых побегов и хвои. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Первые круглосуточные наблюдения за ростом верхушечного побега сосны, проведенные в 2017 г. с 0 до 24 ч 28 июня, показали, что линейный прирост главного осевого побега в высоту составил в опыте 17 мм/сут., в контроле – 10 мм/сут. За 2 суток, с 0 ч 2 июля до 24 ч 3 июля, в опыте побег увеличился на 3 см, в контроле – на 2 см. Более интенсивно побеги росли в вечерние и ночные часы (с 16 до 4 ч). За этот период они прирастали в опыте на 9 мм, в контроле на 5 мм. Всего за 6 суток, с 28 июня до 3 июля, длина главного побега у сосны на площадках с повышенным уровнем азотного питания увеличилась на 7,1 см, в контроле – на 3,5 см. Несмотря на установившуюся в регионе с 5 июля теплую погоду с дневными температурами 21–25 °С, рост сосны начал быстро ослабевать, особенно в контроле.

К концу общего периода роста (11 июля) длина главного побега на площадках с удобрением составляла 25,4±1,3 см, с естественным уровнем азотного питания – 16,9±1,1 см, на боковых ветвях первой мутовки – 15,5±0,5 и 12,2±0,3 см соответственно. За счет действия азота дополнительный прирост верхушечного побега составил 8,5 см, осевого побега на боковых ветвях первой мутовки – 3,3 см. В 2015 и 2016 гг. перед внесением удобрения длина верхушечного побега у сосны была 22,4±0,83 и 23,6±0,77 см соответственно. После окончания роста на молодых побегах сформировались вегетативные почки прироста будущего года. Их длина на площадках с азотом была 1,0–1,2 см, в контроле – 0,7–0,9 см.

Таблица 1

Влияние азота на суточный рост и интенсивность физиологических процессов у сосны в кустарничково-сфагновом сосняке в 2017 г.
Influence of nitrogen on daily growth and intensity of physiological processes in pine trees in the shrub-sphagnum pine forest in 2017

Время замеров, ч	Температура, °С	Освещенность, тыс. лк	Контроль		Опыт		Фотосинтез, мг CO ₂ /(г·ч)		Транспирация, мг H ₂ O/(г·ч)		
			длина главного побега, см	прирост, см	длина главного побега, см	прирост, см	контроль	опыт	контроль	опыт	
<i>28 июня</i>											
0.00	10,1	0,3	9,4±0,1	0	13,2±0,2	0	0,2	0,3	Отсутствует		
4.00	11,0	3,0	10,0±0,4	0,6	14,1±0,1	0,9	0,9	1,0	30	29	
8.00	12,5	19,3	10,0±0,2	0,6	14,3±0,4	1,1	10,5	11,9	206	182	
12.00	13,0	24,0	10,1±0,4	0,7	14,4±0,6	1,1	11,2	13,5	348	317	
16.00	9,0	22,0	10,1±0,1	0,7	14,5±0,1	1,3	10,8	12,3	230	218	
20.00	8,8	4,6	10,2±0,4	0,8	14,7±0,3	1,5	1,4	1,7	74	73	
24.00	7,6	0,2	10,4±0,1	1,0	14,9±0,2	1,7	0,1	0,3	8	10	
<i>2 июля</i>											
0.00	11,3	0,2	10,9±0,3	0	16,7±0,5	0	0,1	0,1	13	13	
4.00	12,9	3,6	11,0±0,2	0,1	17,0±0,5	0,3	0,8	0,9	22	20	
8.00	16,1	20,7	11,1±0,2	0,2	17,1±0,2	0,4	12,1	14,7	193	189	
12.00	22,0	32,5	11,4±0,3	0,5	17,3±0,2	0,6	13,4	18,1	359	319	
16.00	21,0	27,0	11,6±0,5	0,7	17,6±0,6	0,9	12,8	16,8	188	164	
20.00	15,0	10,6	11,7±0,4	0,8	17,9±0,3	1,2	6,2	8,8	88	83	
24.00	9,0	0,2	11,9±0,2	1,0	18,3±0,7	1,6	0,1	0,1	9	8	
<i>3 июля</i>											
0.00	9,0	0,2	11,9±0,3	1,0	18,3±0,7	1,6	0,1	0,1	9	8	
4.00	6,5	4,2	12,1±0,4	1,2	18,5±0,3	1,8	1,2	0,9	23	19	
8.00	18,1	38,7	12,2±0,2	1,3	18,7±0,6	2,0	15,3	17,7	182	169	
12.00	24,0	50,5	12,3±0,4	1,4	18,8±0,4	2,1	14,6	16,1	399	358	
16.00	23,0	44,0	12,4±0,3	1,5	19,3±0,3	2,6	15,0	16,8	275	254	
20.00	19,0	18,6	12,6±0,2	1,7	19,7±0,6	3,0	15,5	17,8	128	100	
24.00	14,5	0,2	12,9±0,3	2,0	20,0±0,9	3,3	0,2	0,2	23	21	

Примечание: общий прирост сосны: в опыте – 25,4±1,3 см, в контроле – 16,9±1,1 см.

Начало вегетационного периода 2018 г. характеризовалось теплой и относительно сухой погодой. Со 2-й половины мая и до конца месяца дневная температура воздуха не опускалась ниже 22–29 °С. Температура в корнеобитаемом горизонте поддерживалась на уровне 8–10 °С. Интенсивные осадки отсутствовали. УПГВ располагался на расстоянии 16–20 см от поверхности почвы. Явные признаки набухания вегетативных почек и освобождения их от покровных чехликов обозначились уже 19–20 мая, или на 3 недели раньше по сравнению с 2017 г., что соответствовало обычным срокам начала роста сосны на Севере [4].

В этот год наблюдения за суточным ростом верхушечного побега сосны одновременно с изучением хода физиологических процессов проводились с 0 ч 17 июня до 24 ч 19 июня и отдельно в 12 ч 20 и 21 июня. К началу исследований дневная температура воздуха на опытном участке была 24–28 °С, ночная – 18–19°. Температура почвы в корнеобитаемом слое (0–20 см) – 10,5–13,0 °С. УПГВ залегал на глубине 15–17 см от поверхности почвы. Ход суточного линейного роста главного осевого побега и физиологических процессов у сосны в 2018 г. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние азота на суточный рост и интенсивность физиологических процессов у сосны в кустарничково-сфагновом сосняке в 2018 г.
Influence of nitrogen on daily growth and intensity of physiological processes in pine trees in the shrub-sphagnum pine forest in 2018

Время опыта, ч	Температура, °С	Освещенность, тыс. лк	Контроль		Опыт		Фотосинтез, мг CO ₂ /(г·ч)		Транспирация, мг H ₂ O/(г·ч)	
			длина главного побега, см	прирост, см	длина главного побега, см	прирост, см	контроль	опыт	контроль	опыт
<i>17 июня</i>										
0.00	12,0	0,3	7,2±0,7	0	11,8±0,5	0	0,1	1,0	Отсутствует	
4.00	12,0	3,0	7,4±0,6	0,2	12,0±0,5	0,2	0,9	0,8	32	33
8.00	24,0	19,3	7,5±0,5	0,3	12,1±0,8	0,3	10,5	11,9	154	149
12.00	29,0	54,0	7,7±0,8	0,5	12,3±0,5	0,5	16,2	23,5	248	227
16.00	26,5	52,0	7,8±0,7	0,6	12,6±0,8	0,8	14,8	22,3	230	218
20.00	18,0	12,6	8,0±0,5	0,8	13,2±0,5	1,4	6,4	8,7	74	73
24.00	10,0	0,2	8,3±0,7	1,1	13,6±0,9	1,8	0,1	1,3	Отсутствует	
<i>18 июня</i>										
0.00	10,0	0,2	8,3±0,4	1,1	13,6±0,5	1,8	0,1	0,1	Отсутствует	
4.00	10,5	3,6	8,8±0,3	1,6	14,1±0,8	2,3	0,8	0,9	22	20
8.00	24,1	20,7	8,9±0,6	1,7	14,2±0,8	2,4	12,1	13,7	213	203
12.00	31,0	62,5	9,0±0,5	1,8	14,3±0,7	2,5	19,3	25,1	369	349
16.00	27,0	57,0	9,1±0,4	1,9	14,4±0,5	2,6	17,0	23,8	350	334
20.00	21,5	10,6	9,1±0,7	1,9	14,5±0,5	2,7	6,2	8,8	128	103
24.00	18,0	0,2	9,2±0,5	2,0	15,0±0,5	3,2	0,1	0,1	Отсутствует	
<i>19 июня</i>										
0.00	18,0	0,2	9,2±0,8	2,0	15,0±0,7	3,2	0,1	1,0	Отсутствует	
4.00	18,5	3,0	9,3±0,9	2,1	15,1±0,5	3,3	0,9	0,8	30	33
8.00	23,0	19,3	9,3±0,5	2,1	15,2±0,6	3,4	10,5	11,9	124	109
12.00	22,0	24,0	9,3±0,8	2,1	15,7±0,5	3,9	11,2	13,5	348	327
16.00	19,0	22,0	9,4±0,5	2,2	15,8±0,8	4,0	10,8	12,3	230	218
20.00	16,0	12,6	9,5±0,6	2,3	16,2±0,5	4,4	6,4	8,7	74	73
24.00	15,0	0,2	9,7±0,7	2,5	16,4±0,5	4,6	0,1	1,3	Отсутствует	
<i>20 июня</i>										
12.00	16,0	21,2	10,1±0,9	2,9	16,8±0,8	5,0	10,2	12,0	238	217
<i>21 июня</i>										
12.00	12,0	11,0	10,1±0,6	2,9	17,2±0,7	5,4	6,7	7,2	152	123

Примечание: общий прирост сосны: в опыте – 18,0±0,6 см, в контроле – 10,3±0,4 см.

За сутки с 0 до 24 ч 17 июня прирост верхушечного побега у сосны составил на площадке с азотным удобрением 18 мм, в контроле – 11 мм. За следующие сутки, 18 июня, длина верхушечного побега дополнительно увеличилась в опыте на 14 мм, в контроле – на 9 мм. Всего за 5 суток, с 17 по 21 июня, она возросла на 5,4 и 2,9 см соответственно. Наибольший суточный прирост побегов в контроле (2–9 мм) и опыте (7–15 мм) был зафиксирован с 16 до 4 ч. В утренние и дневные часы прирост побегов у всех моделей оказался значительно ниже, чем в вечернее и ночное время.

В этот год интенсивный рост главного побега в течение суток совпал с благоприятным температурным режимом воздуха: 17–18 июня температура воздуха в дневное время была 24–31 °С, в ночные часы снижалась незначительно (до 18 °С), освещенность при переменной облачности в околополуденные часы колебалась от 24 до 62 тыс. лк. Стояла сухая погода. После прихода 19 июня на территорию района холодного арктического циклона дневная температура воздуха стала быстро опускаться и уже днем 21 июня не превышала 12 °С. В результате за сутки, с 12 ч 20 июня до 12 ч 21 июня, длина главного побега в опыте увеличилась лишь на 4 мм, в контроле – на 1 мм. Затем пошли ливневые дожди, которые с небольшими перерывами продолжались до 10 июля – рост сосны начал быстро затухать.

В этот год формирование верхушечного побега у сосны в контроле закончилось 24 июня, в опыте – 4 июля, или в опыте на 10 дней позже, чем в контроле. За дополнительный период (с 24 июня по 4 июля) длина главного побега на опытных площадках увеличилась на 2,3 см. В конце общего периода роста длина главного осевого побега на контрольной площадке была $10,3 \pm 0,4$ см, на опытных площадках – $18,0 \pm 0,6$ см, осевого побега на первой боковой мутовке – $5,9 \pm 0,2$ и $9,1 \pm 0,4$ см соответственно. За счет действия азота дополнительный прирост верхушечного побега составил 7,7 см, осевого побега на первой боковой мутовке – 3,2 см.

Причиной слабого роста сосны в заболоченных сосняках стали нарушение у сосны нормальной работы корневой системы из-за анаэробнозиса, вызываемого частым затоплением и низкой обеспеченностью почвы элементами минерального питания [1, 3, 9, 18–20, 24], а также задержка снабжения растущих побегов и корней ассимилятами в результате блокирования выхода их из донорного листа и передвижения в транспортных путях [2, 7, 11, 13, 21–23]. Такие указания имеются и в работе [25]. По данным А.А. Захарина [5], средняя скорость роста у большинства высших растений составляет около 1,0 мм/ч. В сосняках лишайниковых Крайнего Севера сосна растет со скоростью 0,5–0,6 мм/ч, а под влиянием N_{180} – со скоростью 1,04–1,20 мм/ч [10, 21].

Суточный ход фотосинтеза у сосны, как было выявлено, тесно связан со световым режимом и температурой воздуха. В течение суток 17 и 18 июня 2018 г. наибольшая интенсивность фотосинтеза отмечалась с 8 до 16 ч. У опытных моделей она оказалась значительно выше, чем в контроле, и у прошлогодней хвои составляла 11,9–25,1 и 10,5–19,3 мг $CO_2/(г \cdot ч)$ соответственно. В эти же часы наблюдалась и самая высокая транспирация, которая у растений на участках с дополнительным азотным питанием была заметно ниже, чем у контрольных растений, – соответственно 149–349 и 154–369 мг $H_2O/(г \cdot ч)$. После прихода

в район 19 июля холодного циклона интенсивность как физиологических, так и ростовых процессов у сосны значительно понизилась.

Заключение

Наблюдения за суточным ростом верхушечного побега в высоту одновременно с изучением интенсивности физиологических процессов у сосны в кустарничково-сфагновом сосняке позволили установить причинно-следственную связь между скоростью суточного роста побегов и действием азота. Было обнаружено, что у сосны в заболачиваемых сосняках северо-таежной зоны (64°45' с. ш.) суточный и сезонный рост побегов, интенсивность физиологических процессов значительно ниже, чем у сосны в лишайниковых борах Крайнего Севера (66°45' с. ш.).

Причиной слабого роста сосны в этих условиях могло стать нарушение у нее гормонального обмена из-за плохой работы корней. Внесение в кустарничково-сфагновый сосняк азотного удобрения значительно усилило у сосны активность ростовых и физиологических процессов. По данным нашего исследования в северотаежной зоне в 33-летних кустарничково-сфагновых сосняках при естественном уровне азотного питания сосна растет в высоту со скоростью 5–11 мм/сут., под влиянием дополнительного внесения азота (N₁₈₀) – со скоростью 14–18 мм/сут. Интенсивность фотосинтеза за счет действия азота повышается на 12–19 %. Следовательно, в заболоченных типах леса азот способен существенно увеличивать скорость суточного и сезонного роста побегов у сосны. Связь роста побегов с уровнем азотного питания оказалась достаточно тесной ($r = 0,74 \pm 0,04$).

В нашем опыте азот не оказывал существенного влияния на суточную ритмику роста побегов у сосны, он только усиливал ее проявление. Результаты круглосуточных наблюдений показали, что в северотаежной зоне у сосны обыкновенной в заболачиваемых кустарничково-сфагновых сосняках усиление роста главного терминального побега в длину происходит в сумеречные и ночные часы, а замедление – в утренние и дневные. В районе исследований продолжительность светового периода в июне составляет около 22 ч, а явно выраженный ночной период при ясной погоде практически отсутствует. Максимальный прирост сосны в высоту в этих широтах происходит в конце июня–начале июля, а интенсивный – чаще во 2–3-й декадах июня, когда продолжительность дневного периода наибольшая. Максимальная интенсивность фотосинтеза и транспирации у сосны отмечается в околополуденные часы при высоком стоянии солнца над горизонтом. Дыхание корней наиболее активно в вечерние часы и связано с интенсивным притоком в них ассимилятов из листа после активного дневного фотосинтеза.

Действие азота, вносимого в кустарничково-сфагновые сосняки, на рост сосны в целом позитивное. В данных лесорастительных условиях его эффективность определяется уровнем влагообеспеченности почвы и погодными условиями региона. Постоянная избыточная влажность почвы и, как следствие, ее пониженная аэрация, подавляя поглотительную деятельность и синтетические процессы корней, снижают эффективное действие азота на рост сосны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Веретенников А.В., Коновалов В.Н. Влияние осушения на интенсивность дыхания корней *Picea abies* Karst. (*Pinacea*) в ельнике осоково-хвощево-сфагновом северной подзоны тайги // Ботан. журн. 1979. № 2. С. 252–254.
Veretennikov A.V., Kononov V.N. The Effect of Drainage on the Roots Respiration Rate of *Picea abies* Karst. (*Pinacea*) in the Sedge Horsetail Sphagnum Fir Forest of the North Taiga Subzone. *Botanicheskiy Zhurnal*, 1979, no. 2, pp. 252–254. (In Russ.).
2. Вознесенский Л.В., Зеленский О.В., Семихатова О.А. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений. М.; Л.: Наука, 1965. 305 с.
Voznesenskiy L.V., Zalenskiy O.V., Semikhatova O.A. *Research Methods for Photosynthesis and Plant Respiration*. Moscow, Nauka Publ., 1965. 305 p. (In Russ.).
3. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н., Феклистов П.А., Клевцов Д.Н. Динамика дыхания корней сосны и ели в северотаежных фитоценозах // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2014. № 2. С. 52–59.
Zarubina L.V., Kononov V.N., Feklistov P.A., Klevtsov D.N. Dynamics of Root Respiration in Pine and Spruce Trees of Northern Taiga Plant Communities. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Natural Sciences"*, 2014, no. 2, pp. 52–59. (In Russ.).
4. Зарубина Л.В., Хамитов Р.С. Сезонный рост сосны обыкновенной на заболоченных почвах Севера // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 86–100.
Zarubina L.V., Khamitov R.S. Seasonal Growth of Scots Pine under the Conditions of Water-Logged Soils of the North. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2021, no. 3, pp. 86–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-3-86-100>
5. Захарин А.А. Метод регистрации быстрой кинетики роста корней и надземных органов проростков // Физиология растений. 1993. Т. 40, № 6. С. 940–946.
Zakharin A.A. Method for Registration of Growth Rapid Kinetics of Roots and Aerial Organs of Seedlings. *Fiziologiya Rastenij = Russian Plant Physiology*, 1993, vol. 40, no. 6, pp. 940–946. (In Russ.).
6. Иванов Л.А., Силина Ю.Л., Цельникер Ю.Л. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // Ботан. журн. 1950. Т. 35, вып. 2. С. 171–185.
Ivanov L.A., Silina Yu.L., Tsel'niker Yu.L. On the Method of Rapid Weighing to Determine Transpiration in the Wild. *Botanicheskiy Zhurnal*, 1950, vol. 35, iss. 2, pp. 171–185. (In Russ.).
7. Киризий Д.А., Франтийчук В.В., Стасик О.О. Содержание растворимых углеводов и старение флагового листа пшеницы при экспериментальном блокировании оттока ассимилятов // Физиология растений и генетика. 2015. Т. 47, № 2. С. 136–146.
Kiriziy D.A., Frantiychuk V.V., Stasik O.O. The Content of Soluble Carbohydrates and the Aging of the Wheat Flag Leaf during Experimental Blocking of the Assimilates Outflow. *Plant Physiology and Genetics*, 2015, vol. 47, no. 2, pp. 136–146. (In Russ.).
8. Кищенко И.Т. Сезонный рост сосны при внесении азотных удобрений // Лесоведение. 1985. № 2. С. 73–78.
Kishchenko I.T. Pine Seasonal Growth with the Application of Nitrogen Fertilizers. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 1985, no. 2, pp. 73–78. (In Russ.).
9. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях. Архангельск: АГТУ, 2010. 295 с.
Kononov V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Drained Lands*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2010. 295 p. (In Russ.).
10. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: АГТУ, 2011. 338 с.

Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Fertilized Soils*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2011. 338 p. (In Russ.).

11. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Влияние дозы азота при подкормках на отток ^{14}C -ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых // Изв. вузов. Лесн журн. 2012. № 1. С. 7–13.

Konovalov V.N., Zarubina L.V. Impact of Nitrogen Dose on the ^{14}C -Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2012, no. 1, pp. 7–13. (In Russ.). <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b50/xnxx1.pdf>

12. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Транспорт, распределение и потребление ^{14}C -ассимилятов у сосны и ели в северотаежных фитоценозах при различном световом и азотном питании // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 77–94.

Konovalov V.N., Zarubina L.V. Transport, Distribution and Consumption of Pine and Spruce ^{14}C -Assimilates in Northern Phytocenoses under Different Illumination and Nitrogen Nutrition. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2020, no. 3, pp. 77–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-4-77-94>

13. Коновалов В.Н., Листов А.А. Влияние условий минерального питания на дыхание корней сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 1989. № 4. С. 15–19.

Konovalov V.N., Listov A.A. The Influence of Mineral Nutrition Conditions on the Respiration of Scots Pine Roots. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 1989, no. 4, pp. 15–19. (In Russ.). http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/854/15_19.pdf

14. Мамаев В.В. Суточные и сезонные изменения интенсивности выделения CO_2 у скелетных корней сосны и березы в природных условиях // Лесоведение. 1983. № 2. С. 33–36.

Mamayev V.V. Daily and Seasonal Changes in the Intensity of CO_2 Emission in the Pine and Birch Root Fibrils in Natural Conditions. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 1983, no. 2, pp. 33–36. (In Russ.).

15. Тараканов А.М. Рост осушаемых лесов и ведение в них хозяйства. Архангельск: СевНИИЛХ, 2004. 238 с.

Tarakanov A.M. *Growth and Management of Drained Forests*. Arkhangelsk, NRIF Publ., 2004. 238 p. (In Russ.).

16. Грубин Д.В., Третьяков С.В., Коптев С.В. Динамика и перспективы лесопользования в Архангельской области. Архангельск: АГТУ, 2000. 96 с.

Trubin D.V., Tretyakov S.V., Koptev S.V. *Dynamics and Prospects of Forest Management in the Arkhangelsk Region*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2000. 96 p. (In Russ.).

17. Федорец Н.Г. Трансформация азота в почвах лесных биогеоценозов Северо-Запада России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб.: Пушкино, 1997. 41 с.

Fedorets N.G. *Nitrogen Transformation in the Soils of Forest Biogeocenoses in the North-West of Russia*: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, Pushkino Publ., 1997. 41 p. (In Russ.).

18. Цельникер Ю.Л. Дыхание корней и его роль в углеводном балансе древостоя // Лесоведение. 2005. № 6. С. 11–18.

Tsel'niker Yu.L. Root Respiration and its Role in the Carbon Budget of a Stand. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*, 2005, no. 6, pp. 11–18. (In Russ.).

19. Albaugh T.J., Lee Allena H., Dougherty Ph.M., Johnsen K.H. Long Term Growth Responses of Loblolly Pine to Optimal Nutrient and Water Resource Availability. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 192, iss. 1, pp. 3–19. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.002>

20. Kaczmarck D.J., Pope P.E. The Relationship between Soil Nutrient Availability and Foliar Nitrogen and Phosphorus Concentrations in Hardwoods. *Annual Meeting of the American Society of Agronomy 1993*. Cincinnati, 1993, p. 336.

21. Konovalov V.N., Zarubina L.V., Goreva A.D. Peculiar Influence of Nitrogen on the Daily Growth and Photosynthesis of Scots Pine in the Far North. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 263, art. 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/263/1/012011>
22. Laitinen K., Luomala E.-M., Kellomäki S., Vapaavuori E. Carbon Assimilation and Nitrogen in Needles of Fertilized and Unfertilized Field-Grown Scots Pine at Natural and Elevated Concentrations of CO₂. *Tree Physiology*, 2000, vol. 20, iss. 13, pp. 881–892. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.13.881>
23. Öquist G., Huner N.P.A. Photosynthesis of Overwintering Evergreen Plants. *Annual Review of Plant Biology*, 2003, vol. 54, pp. 329–355. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.072402.115741>
24. Palta J.A., Nobel P.S. Influence of Soil O₂ and CO₂ on Root Respiration for *Agave deserti*. *Physiologia Plantarum*, 1989, vol. 76, iss. 2, pp. 187–192. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1989.tb05630.x>
25. Saur E. Interactive Effects of P-Cu Fertilizers on Growth and Mineral Nutrition of Maritime Pine. *New Forests*, 1993, vol. 7, iss. 2, pp. 93–105. <https://doi.org/10.1007/BF00034193>
26. Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A., Aganina Y.E. Adaptive Responses of Morphological Forms of Pine (*Pinus sylvestris* L.) under Stressful Conditions of the Northern Taiga (in the Northern Dvina Basin). *Contemporary Problems of Ecology*, 2018, vol. 11, iss. 4, pp. 377–387. <https://doi.org/10.1134/S1995425518040091>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest