

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

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-86-100

СЕЗОННЫЙ РОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРА

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>

Р.С. Хамитов, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [Z-1461-2018](https://orcid.org/0000-0003-1490-3553),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1490-3553>

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;
e-mail: Liliya270975@yandex.ru, renatkhamitov@yandex.ru

Аннотация. В 33-летнем кустарничково-сфагновом сосняке северотаежной природно-климатической зоны у сосны обыкновенной изучена сезонная ритмика роста молодых побегов в высоту в комплексе с основными физиологическими процессами, определена возможность регулирования их интенсивности дополнительным внесением азотного удобрения. Установлено, что на Севере на гидроморфных избыточно увлажненных почвах сезонный рост сосны в высоту с максимальной скоростью происходит в конце июня и начале июля, когда повышается температура воздуха, а корневая система освобождается от избыточного увлажнения. В отличие от сосняков лишайниковых, в которых корни сосны не подвергаются действию затопления, на гидроморфных торфяных почвах сосна растет значительно медленнее и в течение вегетационного периода имеет менее выраженную, чем в сосняках лишайниковых, интенсивность физиологических процессов. Невысокая скорость роста побегов и физиологических процессов у сосны в сфагновых лесорастительных условиях объясняется нарушением работы ее корневой системы в результате почвенной аноксии, вызываемой затоплением, а также недостаточным снабжением растущих побегов энергопластическими веществами из кроны в результате нарушения их нормального оттока и передвижения в дереве. Азот позитивно влияет на ростовые и физиологические процессы у сосны в сфагновых типах леса. Однако его действие в данных лесорастительных условиях проявляется значительно слабее, чем в сухих лишайниковых борах Крайнего Севера. На заболоченных торфяных почвах под влиянием азотного удобрения на 20 % усиливается сезонный рост сосны в высоту, на 8–10 дней увеличивается продолжительность сезонного роста побегов, существенно повышается интенсивность фотосинтеза, в результате сокращения расхода воды на транспирацию нормализуется водный режим дерева и возрастает ее продуктивность. Эти позитивные изменения, происходящие под действием азота, в конечном счете повышают жизнеспособность и продуктивность сфагновых сосняков.

Для цитирования: Зарубина Л.В., Хамитов Р.С. Сезонный рост сосны обыкновенной на заболоченных почвах Севера // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 86–100. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-86-100

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сосняк сфагновый, влажность почвы, азотное удобрение, физиологические процессы, сезонный рост побегов.

Введение

Основными факторами, определяющими жизненное состояние, продолжительность роста и работу фотосинтетического аппарата у сосны в сфагновых типах леса, являются погодные условия и условия корневого питания. Избыточная

влажность почвенного слоя, бедность минеральными элементами, несмотря на богатство органикой, у сосны в сфагновых типах лесорастительных условий, модифицируя работу корневой системы, вызывают ее преждевременное отмирание и, как следствие, изменяют в худшую сторону весь ход физиологических и ростовых процессов в надземной и подземной частях дерева, уровни их суточных и сезонных ритмов, нарушают апикальную доминантность побегов, негативно отражаются на продуктивности древостоев [6, 7, 11–23, 26, 29, 32–39]. Считается, что для интенсивного роста сосна нуждается в относительно высоком уровне азотного обеспечения [30], поэтому в лесных насаждениях для повышения темпов роста и продуктивности древостоев первостепенным мероприятием является дополнительное внесение в почву азота, на заболоченных местностях оно сопровождается предварительным осушением.

Вопросы влияния азотных удобрений на годичный прирост в высоту и физиологию деревьев изучались многими исследователями [1, 2, 9–13, 15–17, 29, 30, 34, 36, 38]. Учитывая опыт (более 5 лет) этих работ, можно было сделать предположение о положительном воздействии азота на рост сосны в холодном северотаежном лесорастительном регионе. Однако ход сезонного роста и фотосинтез деревьев под влиянием удобрений в целом изучены крайне слабо [1, 10, 12, 15–17, 29, 30, 34–38], что не позволяет делать однозначных выводов. Роль удобрений для данных процессов у сосны в сфагновых типах леса с их неустойчивым уровнем почвенно-грунтовых вод почти не изучалась [29, 34, 38], а в обширном северном регионе Архангельской области такие исследования до последнего времени не проводились. В то же время расшифровка (раскрытие) механизма влияния удобрений на рост и метаболизм сосны на заболоченных почвах остается одной из приоритетных задач современного лесоведения и биологической науки и, помимо теоретического значения, представляет определенную практическую значимость, особенно при разработке мероприятий по ускорению роста деревьев и повышению продуктивности древостоев.

Цель исследования – изучение сезонного роста сосны в сфагновых условиях местопрорастаний после внесения азотных удобрений.

Объекты и методы исследования

Опыты проводились в 2017–2019 гг. на территории зеленой зоны г. Архангельска, 64°45' с. ш. В качестве объекта исследований использован 33-летний сосняк кустарничково-сфагновый, занимающий значительную часть бывшего экспериментального участка «Опытное поле» акад. И.С. Мелехова, сформировавшийся из подростка сосны на месте вырубki материнского древостоя. Опытное насаждение относится к гидроморфному экологическому ряду лесов с избыточным увлажнением. В 1947 г. ручным способом на нем был вырыт односторонний осушительный канал, который в настоящее время захламлен упавшими в него деревьями и не работает. Состав опытного древостоя 10С, густота – около 2,0 тыс. экз./га, высота сосны – 1,6 м. Почва – мощный торфяник (более 3 м) верхового типа заболачивания, подстилаемый тяжелым суглинком. Динамика уровня почвенно-грунтовых вод (УПГВ) в летний период значительная. Мозаичный рельеф сложный: редкие мочажины перемежаются с возвышенными участками, занятыми моховой растительностью, синузиями багульника, подбелы, кассандры, голубики, морошки, сосной.

В ходе решения поставленной задачи были подготовлены 2 опытные площадки для внесения в них удобрения. Контролем служил аналогичный участок неудобренного сосняка. На каждой площадке и в контроле было подобрано и пронумеровано по 10 деревьев сосны I и II классов роста (по Крафту), характеризующихся сходной величиной годичного прироста осевых и боковых побегов за последние годы. Это позволяло получать данные с точностью 3–5 %. В целях проведения наблюдений за расположением УПГВ на каждой опытной площадке и в контроле было подготовлено по 2 смотровые скважины, нулевые отметки на которых установлены согласно проведенной нивелировке.

У модельных деревьев методом непосредственного измерения с помощью ученической линейки, начиная при каждом новом измерении от нулевой отметки, и фотографирования изучали сезонный ход роста верхушечного и осевого побегов на первой боковой мутовке, степень влияния на них азотного удобрения с одновременным учетом расположения УПГВ и состояния погоды. Наряду с изучением сезонного роста побегов велись также работы по выяснению влияния азотного удобрения и УПГВ на основные показатели энергетического метаболизма деревьев. Это давало возможность выявить характер взаимосвязи между ходом роста молодых побегов, фотосинтетической способностью ассимиляционного аппарата и процессами его морфогенеза при воздействии азотного удобрения и УПГВ. В число изучаемых параметров физиологических процессов входили интенсивность фотосинтеза и транспирации, интенсивность дыхания у отчужденных от дерева корней. Последнее положение, однако, не противоречило работе с отчужденными корнями как с интактными [18]. Интенсивность фотосинтеза измерялась радиометрическим методом с помощью радиоуглеродной метки [5] при удельной радиоактивности газовой смеси в замкнутой системе 0,2 МБк/л, интенсивность транспирации – методом быстрого взвешивания срезанных под парафином побегов [8], митохондриальное дыхание корней – методом учета выделяющегося CO_2 [3]. Наблюдения за ростом молодых побегов проводили каждые 1–3 дня от фенофазы начала роста побегов до фенофазы окончания их роста, интенсивность физиологических процессов измеряли 3–5 раз в месяц. В эти же сроки определялись напряженность лучистой энергии, положение УПГВ, температура воздуха и почвы, состояние погоды.

Для подкормки сосны было использовано азотное удобрение в виде карбамида (содержание азота 46 %) как наиболее легко усваиваемое растениями, значительно ускоряющее фотосинтез и экспорт из листьев ассимилятов [15, 17, 21–23, 25]. Удобрение внесено в почву вручную 5 июня 2017 г. на 2 специально подготовленных для этого площадках размером 30×30 м в дозе 180 кг действующего вещества/га. Поскольку деревья небольшие по размеру, а рельеф участка мозаичный, было решено удобрять не всю площадь пробы, а лишь отдельные деревья. Согласно проведенным расчетам, с учетом принятой в опыте дозы азота для одного дерева требовался 1 кг технического удобрения, или 460 г действующего вещества. Почвенные анализы показали, что содержание общего азота в почвенной толще 5–10 см до внесения удобрения составляло 2,01 %, в толще 10–20 см – 2,10 %. Его содержание после внесения удобрения в указанных слоях почвы в конце первого летнего сезона возросло до 2,58 и 2,50 % соответственно.

Результаты исследования и их обсуждение

Год внесения удобрений (2017). Май был холодным и влажным, с низкими положительными температурами и плотной облачностью, длительной верховодкой на болотах, поэтому в данном месяце все растения на опытном участке продолжали находиться в состоянии зимнего покоя. В начале июня сохранялась холодная и пасмурная погода. Уровень почвенной воды на опытном объекте располагался в непосредственной близости к поверхности, иногда образуя верховодку. Температура воздуха днем составляла 8–12 °С, в ночные часы не превышала 3–7 °С. В последующие сутки и всю вторую декаду июня также было холодно и пасмурно, почти ежедневно выпадали осадки, нередко с мокрым снегом, поэтому почва в опытном сосняке оттаивала медленно и характеризовалась как избыточно увлажненная. Из-за низких температур в весенний период исследуемые деревья долгое время не трогались в рост. Первые явные признаки набухания вегетативных почек и разрушения на них покровных чехликов обозначились только к 10 июня, что оказалось почти на месяц позже обычных сроков. В литературе не раз отмечалось [15–17], что на Севере под влиянием погодных условий у сосны возможен сдвиг начала и окончания роста побегов. В нашем опыте задержку работы апикальной меристемы и сдвиг начала роста молодых побегов у сосны вызвали продолжительное весеннее похолодание и корневая аноксия. Холодная и пасмурная погода с морозящими дождями простояла до 18 июня. В этот период дневная температура воздуха составляла примерно 7,5–15,5 °С и лишь эпизодически повышалась до 21 °С. УПГВ оставался в непосредственной близости к поверхности. Поэтому молодые побеги росли в высоту очень медленно. К 18 июня длина верхушечного побега у сосны на участке с азотом составляла 7,3 см, в контроле – 5,7 см, осевого побега на первой боковой мутовке – соответственно 5,0 и 4,3 см (рис. 1).

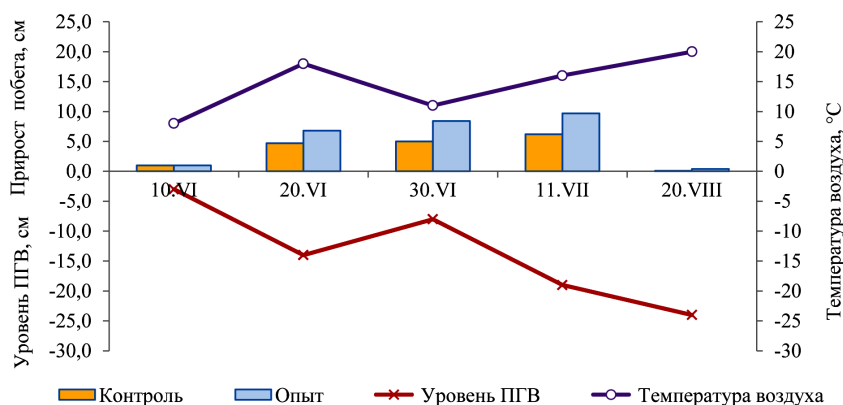


Рис. 1. Динамика сезонного прироста сосны в сосняке сфагновом при естественном и повышенном уровне азотного питания в 2017 г.

Fig. 1. Seasonal growth dynamics of pine in a sphagnum pine forest with a natural and increased level of nitrogen nutrition in 2017

С 18 июня температура воздуха повысилась до 19 °С, температура почвы в толще 0–10 см – до 10 °С, ПГВ опустились на глубину ниже 14 см. Известно, что на Севере корни сосны и ели трогаются в рост при 3–5 °С, начинают активно расти при 8–9 °С [2]. Оптимальная температура для работы ассимиляционного аппарата у хвойных пород равна 18–23 °С [16, 29], поэтому предполагалось, что пришедшее потепление активизирует работу корневой системы и ассимиляционного аппарата сосны и тем самым ускорит рост ее побегов. Однако сохранявшиеся до 2 июля высокие УПГВ и влажность торфяного слоя (92 %) задерживали нормальную работу корней и ассимиляционного аппарата. В результате побеги у сосны росли очень медленно. Общая длина верхушечного побега к указанному числу в опыте составила 15,7 см, в контроле – до 10,7 см, осевого побега на первой боковой мутовке – 10,5 и 9,0 см соответственно. За 14 сут. (18.06–2.07) длина верхушечного побега у опытных растений увеличилась лишь на 8,4 см, в контроле – на 5,0 см, осевого побега на первой боковой мутовке – соответственно на 5,5 и 4,7 см (рис. 1).

С 3 июля потеплело, небо просветлело, температура воздуха повысилась до 23–28 °С, температура почвы в корнеобитаемом слое – до 10,5–13 °С. ПГВ на участке опустились на глубину ниже 20 см от поверхности, влажность верхнего 10-сантиметрового торфяного слоя уменьшилась с 92 до 87 %. Такие характеристики природных факторов на опытном участке сохранялись до окончания роста побегов (11.07) и существенно активизировали работу корней и ассимиляционного аппарата, что положительно сказалось на росте побегов. В этот период дыхание мелких корней в контроле повысилось с $0,52 \pm 0,06$ до $1,16 \pm 0,10$ мг, в опыте – с $0,67 \pm 0,08$ до $1,49 \pm 0,12$ мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$, интенсивность фотосинтеза возросла с $11,7 \pm 0,96$ до $15,8 \pm 1,04$ мг и с $13,9 \pm 1,16$ до $20,7 \pm 1,13$ мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$ соответственно. Достоверность разницы средних значений между опытом и контролем для критерия Сьюдента ($t_{\text{ст},0,95}$) составила по дыханию корней 4,3 и 4,9 по интенсивности фотосинтеза – 3,2 и 4,7 соответственно. Разница в приросте побегов между опытными растениями (N_{180}) и контролем начала существенно возрастать. Так, за период со 2 по 11 июля дополнительный прирост верхушечного побега в опыте составил 9,7 см, в контроле – 6,2 см, осевого побега на первой боковой мутовке – 5,0 и 3,2 см соответственно. В результате почти половина всего дополнительного прироста молодых побегов у сосны от внесенных в почву удобрений в первый год образовалась в конце периода интенсивного роста, то есть в конце июня – начале июля, когда создались необходимые температурные и почвенные условия для активной работы корней и ассимиляционного аппарата (рис. 1).

К концу общего периода роста (11.07) средняя длина осевого апикального побега (согласно проведенным замерам у 10 модельных образцов в каждом варианте) в контроле составляла 16,9 см, в опыте – 25,4 см, на боковых ветвях первой мутовки – 15,5 и 12,2 соответственно (см. таблицу). Дополнительный прирост верхушечного побега у опытных растений за счет действия азота был 8,5 см, осевого побега на боковых ветвях первой мутовки – 3,3 см. В обоих случаях разница между удобренными деревьями и контролем оказалась существенной и по критерию Сьюдента превышала необходимый уровень $t \geq 3$. По сравнению с двумя предыдущими, особенно теплыми, годами, длина

главного осевого побега у контрольных сосен в сырой и холодный 2017 г. была существенно ниже ($16,9 \pm 1,11$ см). В 2016 г. она составляла $22,4 \pm 0,83$ см, в 2015 г. – $23,6 \pm 0,77$ см. У отдельно взятого дерева сосны, удобренного 17 июня 2016 г. аналогичной дозой азота, длина верхушечного побега в первый год была 26,0 см, в контроле – 22,4 см, на второй год (2017) – соответственно 40,5 и 16,9 см. За счет действия удобрения длина побегов в эти годы увеличилась соответственно на 3,6 и 23,6 см. Причиной слабой реакции опытного дерева на внесенное удобрение в 2016 г. несмотря на теплую погоду, видимо, явилась поздняя (17.06) подкормка его удобрением.

Влияние азота на сезонный рост в высоту и скорость физиологических процессов сосны в сосняке сфагновом

Период наблюдений	УПГВ, см	Прирост гл. побега, см		Фотосинтез, мг CO ₂ /(г·ч)		Транспирация, мг H ₂ O/(г·ч)	
		Контроль	N ₁₈₀	Контроль	N ₁₈₀	Контроль	N ₁₈₀
<i>2017 г.</i>							
Июнь	3–10	10,7	15,7	11,7±0,96	14,9±1,16	157±8	144±8
Июль	8–21	6,2	9,7	18,8±1,04	20,7±1,13	162±13	159±12
<i>Общий прирост</i>		16,9	25,4	15,8±1,12	17,8±1,17	160±11	152±13
<i>2018 г.</i>							
Май	5–14	3,8	5,9	11,0±0,67	12,3±0,67	134±6	124±8
Июнь	12–22	6,5	9,8	20,4±1,12	23,8±1,12	166±12	155±10
Июль	8–38	0	2,3	20,3±1,09	24,3±1,09	279±14	243±9
<i>Общий прирост</i>		10,3	18,0	17,3±1,22	20,1±1,39	193±17	174±13
<i>2019 г.</i>							
Май	3–14	3,8	4,7	–	–	148±11	139±6
Июнь	14–18	8,0	14,6	–	–	177±10	159±10
Июль	15–18	0,1	0,3	–	–	166±10	146±11
<i>Общий прирост</i>		11,9	19,6	–	–	163±13	148±12

Несмотря на то, что в 2017 г. температура воздуха после завершения периода роста побегов (11.07) еще долгое время оставалась достаточно высокой ($17,5–26,0$ °C), а корни сосны были свободными от затопления, линейный рост побегов к этому сроку уже закончился, причем одновременно в контроле и в опыте. Лишь в конце июня, перед самым завершением вегетации, когда на контроле рост побегов начал активно замедляться, на опытных площадках он продолжал оставаться весьма существенным. Так, за 7 сут. (с 28.06 по 4.07) дополнительный прирост главного осевого побега в контроле в среднем составил 4,8 см, в опыте – 10,1 см, на боковых ветвях первой мутовки – соответственно 3,5 и 5,5 см. После завершения периода роста на вершине молодых побегов сформировались вегетативные почки прироста следующего года. Размер их на центральном побеге у опытных деревьев составлял 10–12 мм, в контроле 8–9 мм. В первый год после внесения удобрения у опытных растений не удалось зарегистрировать ярко выраженного продления сезонного роста побегов по сравнению с контролем, которое в своих опытах наблюдал И.Т. Кищенко [10].

Второй год (2018) после внесения удобрений. Первые признаки набухания и освобождения вегетативных почек от покровных

чехликов на побегах обозначились очень рано, уже 19–20 мая после наступившего потепления, или на 3 недели раньше, чем в 2017 г., что соответствовало обычным срокам начала вегетации сосны на Севере [17]. Крупные почки у опытных растений интенсивно набухали, новообразование и видимый рост молодых побегов на них начались на 1-2 дня раньше, чем в контроле. Вторая декада и начало третьей декады мая также характеризовались относительно теплой и солнечной погодой. Температура воздуха днем сохранялась на уровне 20–24 °С, ночью – 5–8 °С. В конце месяца длина верхушечного побега у опытных растений составляла 5,9 см, в контроле – 3,8 см (рис. 2, таблица).

С 25 мая установилась сухая, но холодная погода с дневными температурами 5–14 °С и ночными 1–5 °С. Холодная с плотной облачностью ненастная погода, нередко с выпадением снега и ночными заморозками, простояла до середины июня и предопределила слабый рост сосны в это время. УПГВ весь период располагался вблизи поверхности почвы (8–13 см), чем ограничивал нормальную работу корней и ассимиляционного аппарата сосны. К 15 июня потеплело, температура воздуха днем повысилась до 15–17 °С, затем до 21–24 °С, ночью до 5–12 °С. Однако затопленная почва продолжала оставаться холодной. Температура в корнеобитаемом слое не превышала 6,5–7 °С. Как показали результаты замеров, 16 июня длина верхушечного побега у сосны в опыте была 13,0 см, в контроле – 8,8 см (рис. 2).

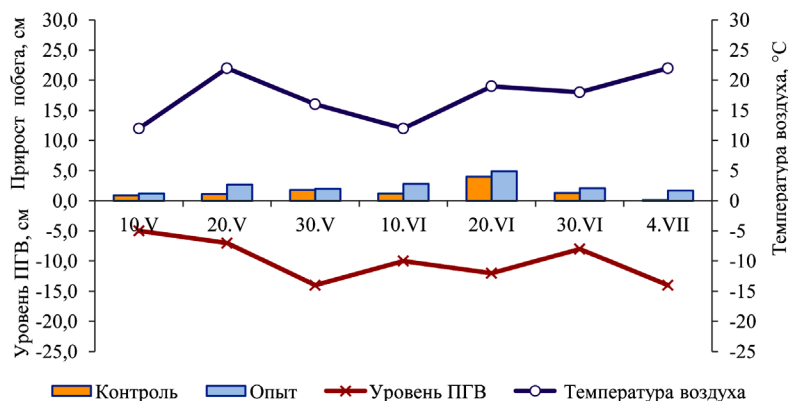


Рис. 2. Динамика сезонного прироста сосны в сосняке сфагновом при естественном и повышенном уровнях азотного питания в 2018 г.

Fig. 2. Seasonal growth dynamics of pine in a sphagnum pine forest with a natural and increased level of nitrogen nutrition in 2018

Затем начались интенсивные грозовые и ливневые дожди. Несмотря на осадки, температура воздуха не опускалась ниже 18–24 °С, в слое почвы 0–20 см – ниже 11–14 °С. В результате за 15 сут. в период с 16 по 30 июня длина верхушечного побега в опыте увеличилась на 2,8 см, в контроле – на 1,5 см, или за сутки возросла на 1,9 и 1 мм соответственно (рис. 2). С 30 июня произошло кратковременное похолодание, однако ливневые дожди не прекращались. В этот период УПГВ располагался в 5–8 см от поверхности. С 4 июля воздух прогрелся днем до 22,5 °С, ночью – до 14 °С, а с 11 июля установилась сухая жаркая погода с дневными температурами 25–29 °С. Однако это уже не влияло

на рост молодых побегов, поскольку его активная фаза (с видимым результатом) к данному сроку уже закончилась, началось формирование ассимиляционного аппарата.

В 2018 г. формирование верхушечного побега у сосны в контроле закончилось 24.06, на площадках с дополнительным азотным питанием – 4.07, или в опыте на 10 дн. позже, чем в контроле. За эти 10 сут. длина главного побега у сосны на опытных площадках дополнительно увеличилась еще на 2,3 см. К периоду полного окончания роста длина верхушечного побега в контроле составляла $10,3 \pm 0,4$ см, в опыте $18,0 \pm 0,6$ см (таблица). Разница оказалась статистически достоверной ($t = 7,4$ при $t_{st,0,95} = 2,8$). Несмотря на раннее начало роста, длина осевого побега у сосны в 2018 г. по сравнению с 2017 г. уменьшилась в контроле на 6,6 см, в опыте – на 8,4 см. Различие статистически значимо ($t \geq 3$ при $t_{0,95} = 2,2$).

Можно отметить, что погодные условия 2018 г. для роста сосны оказались более благоприятными по сравнению с 2017 г., особенно в начале вегетационного периода, а заложившиеся осенью 2017 г. на побегах вегетативные почки были достаточно крупными, интенсивность фотосинтеза и транспирации в августе сохранялась относительно высокая. Это предопределяло хороший рост побегов в 2018 г. Как показали дальнейшие исследования, в 2018 г. рост сосны в высоту оказался значительно хуже, чем в 2017 г. Причиной стали очень плохие погодные условия в мае–июле предыдущего года и в июне текущего года: растениями было накоплено недостаточное количество запасных веществ (крахмала). Считается, что у сосны величина прироста побегов в текущем году в первую очередь определяется погодными условиями [24] и условиями ассимиляции [16] предыдущего года, создающими запасы резервных веществ. Замеры показали, что на удобренных площадках прирост верхушечного побега у сосны по отношению к контролю в первый год увеличился на 49 %, на второй год – на 74 %. Под влиянием удобрения значительно ускорился также рост хвои. В 2018 г. ее длина на площадках с повышенным уровнем азотного питания составляла 57 мм, на площадках с естественным уровнем – 40 мм, в 2017 г. – 42 и 36 мм соответственно.

Вегетационный период 2019 г. По погодным условиям даже для северного региона оказался аномально холодным, особенно в начале и в середине, однако в общих чертах он повторял характер погоды летнего сезона 2018 г. Короткие редкие теплые периоды чередовались с продолжительными похолоданиями, нередко с выпадением обильных осадков. Поэтому в 2019 г., как и в 2018 г., сосна росла крайне неравномерно: нечастые и недолговременные ускорения роста молодых побегов сменялись длительным спадом интенсивности этого процесса. Как показали наблюдения за погодой, к 10 мая дневная температура воздуха в районе исследований кратковременно повысилась до 24–28 °С, ночная – до 12–14 °С, в почвенном слое 0–10 см – до 7,0 °С. К этому сроку снег на опытном участке полностью растаял, однако верховодка сохранялась. Затем после небольшого потепления, наступило длительное похолодание с дневными температурами воздуха 1–4 °С, выпадением снега и установлением временного снежного покрова. Такая погода стояла до конца месяца. В результате за период с 4 по 20 мая в контроле прирост верхушечных побегов составил 2,2 см, с 20 по 30 мая – 1,6 см, а с 30 мая по 9 июня – 4,1 см (рис. 3). Общая длина верхушечных побегов в 2019 г. в контроле была 11,9 см, в опыте – 19,9 см, а осевых побегов на первой боковой мутовке – 9,8 см, в опыте – 15,2 см (таблица).

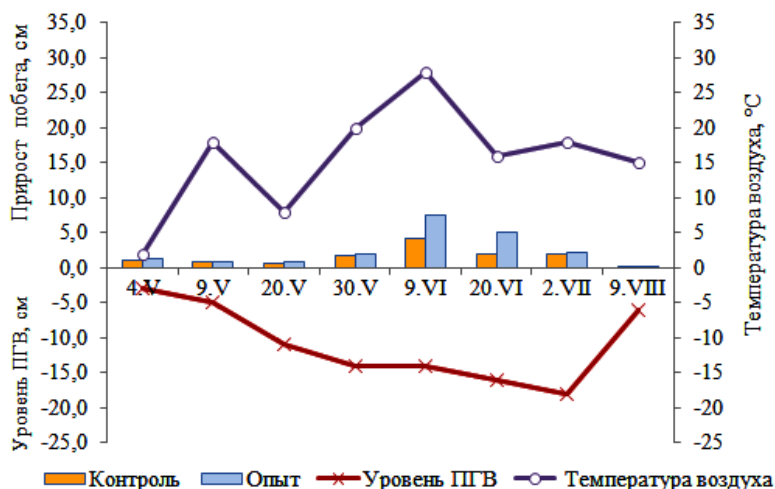


Рис. 3. Динамика сезонного прироста сосны в сосняке сфагновом при естественном и повышенном уровне азотного питания в 2019 г.

Fig. 3. Seasonal growth dynamics of pine in a sphagnum pine forest with a natural and increased level of nitrogen nutrition in 2019

Эффективное влияние азотного удобрения на рост молодых побегов сосны на третий год (2019) продолжилось. Действие вещества началось в мае после прихода теплой погоды. Уже к 30 числу отличие в длине верхушечных побегов удобренных деревьев и контроля достигло 1,0 см, к 9 июня оно возросло до 4,4 см, а к 20 июня – до 7,6 см. С повышением температуры разница между опытными деревьями и контролем увеличилась, а с понижением уменьшалась (рис. 3). В конце вегетационного периода молодые верхушечные побеги у опытных растений были на 7,6 см длиннее контрольных, на первой боковой мутовке – на 4,1 см.

Основной прирост побегов у сосны в 2019 г., как и в 2 предыдущих года, произошел в июне. За этот месяц прирост верхушечных побегов по отношению к общему приросту за год в контроле составил 59 %, на удобренных площадках – 65 %, осевых побегов на первой боковой мутовке – соответственно 93 и 94 % (таблица). В конце вегетации общая длина верхушечного побега в контроле была 11,9 см, в опыте – 19,6 см, осевого побега на первой боковой мутовке – 9,8 и 13,9 см, или по отношению к контролю в опыте она увеличилась на 64 и 48 % соответственно.

Таким образом, результаты опытов показали, что на избыточно увлажненных торфяных почвах северотаежной лесорастительной зоны скорость роста молодых побегов сосны определяется состоянием погодных условий и уровнем корневого питания. Связь между ростом в высоту и УПГВ из-за неустойчивой с частыми осадками холодной погоды у сосны здесь носит условный характер, с коэффициентом корреляции $r = -0,37 \pm 0,12$.

Годичный прирост сосны в высоту в сосняке кустарничково-сфагновом оказался значительно ниже, чем в сухих лишайниковых сосняках Крайнего Севера [17]. Основной причиной плохого роста сосны в избыточно увлажненном сосняке кустарничково-сфагновом по сравнению с сосняком лишайниковым могли стать обусловленные анаэробизмом сбои в работе ее корневой системы и, возможно, в гормональном обмене [2, 7, 20, 21, 27, 28, 31, 32, 36, 37], а также недопоставка в растущие побеги ассимилятов из кроны из-за нарушения их нормального оттока и передвижения в дереве [4, 11–14].

Согласно результатам проведенного нами исследования, максимальный прирост сосны на Севере в заболоченных сосняках приходится на середину и конец июня, когда повышается температура воздуха и почвы, корни освобождаются от затопления, а интенсивный – чаще всего на 2–3-ю декады июня, когда продолжительность светового дня на Севере наибольшая. Затухание роста побегов в этих лесорастительных условиях не зависит от погоды и состояния почвы. В конце июня – начале июля, несмотря на благоприятные экологические условия, рост терминальных побегов постепенно прекращается, у сосны формируются апикальные и латеральные почки. Считается, что предельная календарная граница затухания роста терминальных побегов у данной древесной породы является генетическим свойством [17]. Однако в условиях Севера в отдельные годы, когда погодные условия сдвигают на более поздние сроки начало роста побегов, как это было в 2017 г., период прекращения их роста у сосны может продлиться до середины июля.

Несмотря на частое подтопление корневой системы, сосна в сосняках сфагновых положительно реагирует на дополнительное азотное питание путем увеличения прироста в высоту, но значительно в меньшей степени, чем это наблюдается у нее на сухих дренированных почвах сосняков лишайниковых [17]. В результате проведенных исследований выявлена достаточно тесная положительная корреляционная связь между уровнем азотного питания и ростом верхушечного побега сосны с коэффициентом корреляции (r) от $0,89 \pm 0,09$ в первый год до $0,94 \pm 0,07$ на второй год. Повышение дополнительного прироста побегов под влиянием удобрения происходило в те же отрезки времени, когда и на неудобренных площадках, и наоборот. О том, что в северных древостоях зависимость роста вегетативных органов сосны от погодных условий в полной мере сохраняется и при повышенном азотном питании, отмечали и другие исследователи [10]. Выявленные нами колебания в темпах прироста молодых побегов в основном были обусловлены изменениями температурного режима воздуха и почвы и в меньшей мере колебаниями УППВ.

Сравнительно редкие (3–5 раз в мес.) определения интенсивности физиологических процессов у сосны в течение вегетационных периодов 2017–2019 гг. показывают, что наибольшие значения показателей этих процессов у прошлогодней хвои сосны наблюдаются в летний период. В мае–июле дыхание мелких корневых окончаний на контрольном участке было $0,50–1,49$ мг, на участке с повышенным азотным питанием – $0,55…1,82$ мг $\text{CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$, интенсивность фотосинтеза – $11,0…20,4$ мг и $12,3…24,3$ мг $\text{CO}_2/(\text{г}\cdot\text{ч})$, транспирации – $134…279$ и $124…243$ мг $\text{H}_2\text{O}/(\text{г}\cdot\text{ч})$ соответственно. Максимальная интенсивность физиологических процессов наблюдалась в периоды, когда корни освобождались от затопления. Самая высокая интенсивность фотосинтеза и дыхания корней отмечалась у опытных растений, а транспирация – у контрольных. Результаты наших исследований и данные других авторов [11, 16, 21–23, 38] достаточно убедительно свидетельствуют, что острый дефицит азота и недостаток аэрации в заболоченных почвах Севера являются главными факторами, сдерживающими нормальное развитие и скорость роста сосны, влияющими на характер формирования у нее суточного и годичного прироста и на ее отдельные органы.

Заключение

Наблюдения за сезонным ростом сосны в высоту показали, что на заболоченных торфяных почвах северотаежной лесорастительной зоны прирост за год составляет 10,3–16,9 см. В сухих лишайниковых сосняках Крайнего Севера – 24,9–30,5 см, это в 2–2,5 раза больше, чем в сосняках сфагновых. Действие вносимого в последние азота в целом позитивное. В данных условиях под влиянием дозы N_{180} высота сосны ежегодно увеличивается на 7,7–8,5 см по сравнению с контролем. В первый год ее прирост больше на 50 %, во второй – на 74 %, в третий – на 64 %. На первой боковой мутовке осевой побег под действием азотного удобрения за год становится длиннее на 2,0–4,1 см, или на 15–42 % по сравнению с контролем. Увеличение прироста побегов у опытных растений происходило за счет азота, поглощенного из внесенного в насаждение удобрения. В сентябре 2019 г. содержание азота в прошлогодней хвое превышало контроль на 15 % (в контроле – 1,21 %, в опыте – 1,39 %). В профиле 5–10 см опытной почвы его содержание в этот период уравнивалось с содержанием в контроле (2,07 %). В лишайниковых борах Крайнего Севера дополнительный прирост сосны в высоту под действием данной дозы азота составил от 5 см в первый год до 17 см на четвертый год, или по отношению к контролю в отдельные годы он увеличился на 19–66 %.

В сфагновых сосняках азотные удобрения у сосны на 8–10 дней сдвигают период затухания роста побегов и обуславливают более раннее (на 1–2 дня) начало их роста, связанное с укрупнением почек. Максимальный прирост побегов в этих условиях имеет место в середине и конце июня, когда корневая система сосны освобождается от затопления, а интенсивный – чаще во 2–3-ю декады июня, когда продолжительность дневного периода наибольшая.

Интенсивность фотосинтеза у сосны в сфагновом сосняке под влиянием азотного удобрения повышается по сравнению с контролем в первый год на 12 %, во второй – на 19 %. В данных условиях это необходимо дереву прежде всего для осуществления репарационных процессов в корнях, нуждающихся для своего проявления в притоке значительного количества пластических веществ. Повышение интенсивности фотосинтеза у растений после внесения в насаждения удобрений обуславливается стимулирующим действием азота на фиксацию CO_2 в хлоропластах, на морфогенез ассимиляционного аппарата и работу всех точек роста, на процессы листообразования. Максимальная интенсивность фотосинтеза и транспирации у сосны в заболоченных условиях проявляется на 2-й и 3-й год после внесения удобрений. Считаем, что для достижения у сосны в сфагновом сосняке оптимального ростового и физиологического эффекта, прежде всего, необходимо провести осушительные работы с помощью мелкой мелиорации, а затем через 2–3 года дополнительно внести 180 кг/га азота. Такие опыты с сосной и елью имеются в лесах Архангельской и Ленинградской областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Атисков Н.В. Сезонный рост побегов и хвои текущего года у сосны и лиственницы в Куйбышевском Заволжье // Лесоведение. 1978. № 5. С. 44–51.
Atiskov N.V. Seasonal Growth of Shoots and Needles of the Current Year in Pine and Larch in Kuybyshev Trans-Volga Region. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1978, no. 5, pp. 44–51.

2. Бобкова К.С., Патов А.И. Сезонная динамика роста побегов и корней // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. Л.: Наука, 1981. С. 93–103.

Bobkova K.S., Patov A.I. Seasonal Dynamics of Shoot and Root Growth. *Ecological and Biological Bases of Increasing Productivity of Taiga Forests of the European North*. Leningrad, Nauka Publ., 1981, pp. 93–103.

3. Вальтер О.А., Пиневиц Л.М., Варасова Н.Н. Практикум по физиологии растений с основами биохимии. М.; Л.: Сельхозгиз, 1957. 341 с.

Wal'ter O.A., Pinevich L.M., Varasova N.N. *Workbook on Plant Physiology with the Basics of Biochemistry*. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 1957. 341 p.

4. Веретенников А.В., Кузьмин Ю.И. Транспорт, распределение и потребление ¹⁴C-ассимилятов у сосны обыкновенной при различном водном режиме торфяной почвы // Лесоведение. 1977. № 3. С. 34–41.

Veretennikov A.V., Kuz'min Yu.I. Transport, Distribution and Consumption of ¹⁴C-Assimilates in Scots Pine under Different Water Regime of Peat Soil. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1977, no. 3, pp. 34–41.

5. Вознесенский В.Л., Заленский 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. *Methods of Studying Photosynthesis and Respiration of Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1965. 305 p.

6. Вомперский С.Э., Сабо Е.Д., Формин А.С. Лесоосушительная мелиорация М.: Лесн. пром-сть, 1975. 296 с.

Vomperskiy S.E., Sabo E.D., Fomin A.S. *Forest Drainage Reclamation*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1975. 296 p.

7. 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. 52–60.

Zarubina L.V., Konovalov V.N., Feklistov P.A., Klevtsov D.N. Dynamics of Root Respiration in Pine and Spruce Trees of Northern Taiga Plant Communities. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Natural Sciences"], 2014, no. 2, pp. 52–60.

8. Иванов Л.А., Силина А.А., 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 A.A., Tsel'niker Yu.L. On the Method of Fast Weighing to Determine Transpiration in Natural Conditions. *Botanicheskii Zhurnal*, 1950, vol. 35, iss. 2, pp. 171–185.

9. Кищенко И.Т. Сезонный рост хвои сосны в разных типах леса южной Карелии // Лесоведение. 1978. № 2. С. 27–32.

Kishchenko I.T. Seasonal Growth of Pine Needles in Different Forest Types of Southern Karelia. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1978, no. 2, pp. 27–32.

10. Кищенко И.Т. Сезонный рост сосны при внесении удобрений // Лесоведение. 1985. № 2. С. 73–78.

Kishchenko I.T. Seasonal Growth of Pine with Fertilizer Application. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1985, no. 2, pp. 73–78.

11. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях. Архангельск: САФУ, 2010. 295 с.

Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Drained Lands*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 295 p.

12. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: САФУ, 2011. 338 с.
- Konovalev V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Fertilized Soils*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2011. 338 p.
13. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Влияние дозы азота при подкормках на отток ¹⁴C-ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых // Изв. вузов. Лесн. журн. 2012. № 1. С. 7–13.
- Konovalev V.N., Zarubina L.V. Impact of Nitrogen Dose on the ¹⁴C-Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2012, no. 1, pp. 7–13. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b50/xnxx1.pdf>
14. Коновалов В.Н., Листов А.А. Влияние условий минерального питания на дыхание корней сосны обыкновенной // Изв. вузов. Лесн. журн. 1989. № 4. С. 15–19.
- Konovalev V.N., Listov A.A. Influence of Mineral Nutrition Conditions on Respiration of Scots Pine Roots. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1989, no. 4, pp. 15–19. URL: http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1989/Lesnoy_zhurnal_1989_god_4_chast.pdf
15. Коновалов В.Н., Листов А.А. Сезонный рост и фотосинтез сосны обыкновенной под влиянием азотных удобрений // Повышение продуктивности лесов Европейского Севера: сб. науч. тр. Архангельск: АИЛиЛХ, 1992. С. 151–159.
- Konovalev V.N., Listov A.A. Seasonal Growth and Photosynthesis of Scots Pine under the Influence of Nitrogen Fertilizers. *Increasing the Forest Productivity in the European North: Collection of Academic Papers*. Arkhangelsk, AILiLH Publ., 1992, pp. 151–159.
16. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
- Lir H., Pol'ster G., Fidler G.I. *Physiology of Woody Plants*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 424 p.
17. Листов А.А., Коновалов В.Н. Влияние минеральных удобрений на сезонный рост сосны в высоту // Лесоведение. 1988. № 1. С. 33–42.
- Listov A.A., Konovalev V.N. Influence of Mineral Fertilizers on Seasonal Growth of Pine Trees in Height. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1988, no. 1, pp. 33–42.
18. Мамаев В.В. Суточные изменения интенсивности выделения CO₂ у корневых мочек сосны и березы в природных условиях // Лесоведение. 1983. № 3. С. 33–38.
- Mamayev V.V. Daily Changes in the Intensity of CO₂ Emission in the Root Fibrilla of Pine and Birch under Natural Conditions. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1983, no. 3, pp. 33–38.
19. Медведева В.М. Формирование лесов на осушенных землях среднетаежной подзоны. Петрозаводск: Карелия, 1989. 168 с.
- Medvedeva V.M. *Formation of Forests on the Drained Lands of the Middle Taiga Zone*. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 1989. 168 p.
20. Меняйло Л.Н. Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных. Новосибирск: Наука, 1987. 185 с.
- Menyaylo L.N. *Hormonal Regulation of Conifer Xylogenesis*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987. 185 p.
21. Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 323 с.
- Orlov A.Ya., Koshel'kov S.P. *Soil Ecology of Pine Trees*. Moscow, Nauka Publ., 1971. 323 p.
22. Паавилайнен Э. Применение минеральных удобрений в лесу: пер. с фин. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 96 с.
- Paavilaynen E. Application of Mineral Fertilizers in the Forest. Trans. from Finnish. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 96 p.
23. Победов В.С. Исследование и обоснование применения минеральных удобрений в интенсивном лесном хозяйстве (на примере Белорусской ССР): автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М.: МЛТИ, 1981. 38 с.

Pobedov V.S. *Studying and Substantiating the Use of Mineral Fertilizers in Intensive Forestry (Case Study of the Belorussian SSR)*: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs. Moscow, MLTI, 1981. 38 p.

24. Поргасаар В.И. Минеральное питание сосны обыкновенной и его диагностика. автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту, 1973. 42 с.

Porgasaar V.I. *Mineral Nutrition of Scots Pine and Its Diagnosis*: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs. Tartu, 1973. 42 p.

25. Ратнер Е.И. Питание растений и применение удобрений. М.: Наука, 1965. 223 с.

Ratner E.I. *Plant Nutrition and Fertilizer Application*. Moscow, Nauka Publ., 1965. 223 p.

26. Тараканов А.М. Рост осушаемых лесов и ведение хозяйства в них. Архангельск: СевНИИЛХ, 2004. 228 с.

Tarakanov A.M. *Growth of Drained Forests and Management in Them*. Arkhangelsk, SevNIILH Publ., 2004. 228 p.

27. Федорова А.И., Зражевская Г.К. Фитогормоны у карликовых и нормальных форм сосны обыкновенной // Лесоведение. 1983. № 3. С. 39–46.

Fedorova A.I., Zrazhevskaya G.K. Phytohormones in Dwarf and Normal Forms of Scots Pine. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1983, no. 3, pp. 39–46.

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

Tsel'niker Yu.L. Root Respiration and Its Role in the Carbon Balance of a Stand. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2005, no. 6, pp. 11–18.

29. Цветков В.Ф., Семенов Б.А. Сосняки Крайнего Севера. М.: Агропромиздат, 1985. 116 с.

Tsvetkov V.F., Semenov B.A. *Pine Forests of the Far North*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 116 p.

30. Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.

Chernobrovkina N.P. *Ecophysiological Characteristics of Nitrogen Use by Scots Pine*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2001. 175 p.

31. Chen C.-M., Ertl J.R., Leisner S.M., Chang C.-C. Localization of Cytokinin Biosynthesis Sites in Plants and Carrot Roots. *Plant Physiology*, 1985, vol. 78, iss. 3, pp. 510–513. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.78.3.510>

32. Goutts M.P. Effects of Waterlogging on Water Relations of Actively-Growing and Dormant Sitka Spruce Seedlings. *Annals of Botany*, 1981, vol. 47, iss. 6, pp. 747–753. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086073>

33. Granato T.C., Raper Jr. C.D., Wilkerson G.G. Respiration Rate in Maize Roots Is Related to Concentration of Reduced Nitrogen and Proliferation of Lateral Roots. *Physiologia Plantarum*, 1989, vol. 76, iss. 3, pp. 419–424. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1989.tb06213.x>

34. Heinze M., Fiedler H.J. Water Consumption, Nutrition and Growth of Pine Seedlings under the Conditions of Different Radiation Intensity, Watering and Fertilization. *Flora*, 1980, vol. 169, iss. 1, pp. 89–103. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)31167-2](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)31167-2)

35. 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.

36. Mannerkoski H., Miyazawa T. Growth Disturbances and Needle and Soil Nutrient Contents in a NPK-Fertilized Scots Pine Plantation on a Drained Small-Sedge Bog. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 1983, no. 116, pp. 85–91.

37. Mazumder A.H., White E.H., Bickelhaupt D.H. Foliar Response of Northern Hardwood Stands to Fertilization. *Annual Meeting of the American Society of Agronomy 1993*. Cincinnati, 1993, p. 338.

38. Michniewicz M., Stopinska J. The Effect of Nitrogen Nutrition on Growth and on Plant Hormones Content in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.) Seedlings Grown under Light of Different Intensity. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1980, vol. 45, no. 3, pp. 221–234. DOI: <https://doi.org/10.5586/asbp.1980.020>

39. 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. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1989.tb05630.x>

SEASONAL GROWTH OF SCOTS PINE UNDER THE CONDITIONS OF WATER-LOGGED SOILS OF THE NORTH

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>

Renat S. Khamitov, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [Z-1461-2018](https://orcid.org/0000-0003-1490-3553),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1490-3553>

Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Schmidta, 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: Liliya270975@yandex.ru

Abstract. The seasonal rhythm of height growth of young shoots of Scots pine growing in a 33-year-old shrubby-sphagnum pine forest of the northern taiga natural-climatic zone has been studied in a complex with the main physiological processes. The possibility of regulating their intensity by additional introduction of nitrogen fertilizer has been determined. It has been found that on hydromorphic excessively wet soils of the North, seasonal height growth of pine occurs with a maximum rate in late June and early July, when air temperature rises and the root system is released from excessive moisture. Unlike lichen pine forests, in which pine roots are not affected by flooding, on hydromorphic peat soils pine grows much slower and during the growing season has less intensive physiological processes. The low rate of shoot growth and physiological processes in pine in sphagnum forest site conditions is explained by dysfunction of its root system as a result of soil anoxia caused by flooding, as well as by insufficient supply of growing shoots with macronutrients from the crown as a result of violation of their normal outflow and movement in the tree. Nitrogen fertilizers positively affect growth and physiological processes in pine trees in sphagnum forest types. However, their effect in these forest site conditions is much weaker than in the dry lichen forests of the Far North. On water-logged peat soils under the influence of nitrogen fertilizer seasonal height growth of pine trees increases by 20 %, the duration of seasonal shoot growth increases by 8–10 days, the intensity of photosynthesis increases significantly, and, as a result of reduced water consumption for transpiration, the tree water regime normalizes and the transpiration productivity increases. These positive nitrogen-induced changes ultimately improve the viability and productivity of sphagnum pine forests.

For citation: 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. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-86-100

Keywords: Scots pine, sphagnum pine forest, soil moisture, nitrogen fertilizer, physiological processes, seasonal shoot growth.