

УДК 582.475.2:581.522.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-59-72

РОСТ ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНОВ *Picea abies* (L.) Karst. В АНТРОПОГЕННОЙ СРЕДЕ

И.Т. Кищенко¹, д-р биол. наук, проф., акад. РАН; ResearcherID: [AAC-1083-2019](https://orcid.org/0000-0002-1039-1020),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1039-1020>

Е.С. Ольхина², канд. биол. наук, ст. преп.; ResearcherID: [AAG-1839-2021](https://orcid.org/0000-0003-3476-2946),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3476-2946>

¹Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33,

г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: ivanki@karelia.ru

²Петрозаводский лесотехнический техникум, ул. Калинина, д. 41, г. Петрозаводск,

Республика Карелия, Россия, 185003; e-mail: olkhin@psu.karelia.ru

Аннотация. Исследования проводили в девостоях в различных по степени нарушенности условиях: в городе, пригородных лесах и лесах зеленой зоны. Рекреационные нагрузки сильнейшим образом отражаются на санитарном состоянии ельников. Число здоровых деревьев с усилением рекреационной дигрессии сокращается до 30–42 %, а число усыхающих и сухостойных увеличивается до 15–36 %. Состояние древостоев в лесах зеленой зоны оценивается 1,2–1,5 балла, а в пригородных лесах – 2,1–2,7. Усыхающих и сухостойных деревьев в лесах зеленой зоны не обнаружено, а в пригородных их доля составила соответственно 15 и 36 % от общего числа. Поэтому в целом ельники пригородных лесов относятся к категории ослабленных. Около 59 % их площади находится в III стадии рекреационной дигрессии, а 19 % – в IV стадии. Исследования показали, что особенности ростовых процессов *P. abies* определяются в основном сезонной изменчивостью метеорологических факторов. Установлено, что ранее всего рост побегов и хвои начинается и заканчивается в условиях города. Погодичная изменчивость в сроках прохождения этих фенофаз составляла 1–2 недели. Уплотнение почвы в результате рекреационных нагрузок особенно негативным образом сказывается на интенсивности роста деревьев и годичном приросте вегетативных органов. Побег *P. abies* в лесах зеленой зоны (ненарушенные древостои) длиннее, чем в пригородных и городских насаждениях соответственно на 2–30 и 6–17 %. В лесах зеленой зоны формируется и самая длинная хвоя (16,6–19,7 мм). Значение этого показателя в городских насаждениях составляет всего 12,8–15,0 мм. Наименьшая охвоенность побегов отмечена в условиях города, характеризующихся максимальной степенью рекреационной дегрессии. Здесь годичный радиальный прирост ствола *P. abies* по сравнению с лесами зеленой зоны снижается на 16–20 %. Последовательность в ростовых фенофазах не зависит от степени нарушенности окружающей среды. Первыми (в мае) идут в рост побеги, через 1–2 недели – молодая хвоя, затем начинается формирование древесины в нижней части ствола. Последовательность в прекращении ростовых процессов следующая: побеги, хвоя, стволы.

Для цитирования: Кищенко И.Т., Ольхина Е.С. Рост вегетативных органов *Picea abies* (L.) Karst. в антропогенной среде // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 59–72. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-59-72

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-44-100002 p_a).

Ключевые слова: рекреация, *Picea abies*, рост, побеги, хвоя, ствол, антропогенные факторы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare that there is no conflict of interest

Введение

Изучению сезонного роста и развития растений, в том числе древесных видов, уделяется большое внимание как в России, так и за рубежом. При этом объектами исследований служат аборигенные и интродуцированные древесные растения и в частности хвойные. Санитарное состояние наиболее полно характеризует рост и развитие лесообразующих видов [2, 5, 19, 22]. Поэтому изучение эколого-биологических особенностей роста имеет чрезвычайно важное теоретическое и практическое значение.

Урбанизация, идущая нарастающими темпами, приводит к вовлечению в сферу рекреационного применения огромных территорий различных типов растительности и в первую очередь лесов. Вокруг г. Петрозаводска для этого используются леса, представленные преимущественно еловыми древостоями. Их общее состояние под влиянием высоких рекреационных нагрузок значительно ухудшается, а защитные и санитарно-гигиенические функции снижаются [1, 2, 17, 20–22]. Объективная оценка использования ельников в рекреационных целях возможна лишь на основе всесторонних исследований. В первую очередь это относится к выявлению изменений в ростовых процессах деревьев *P. abies* при различной степени нарушенности, что позволит достоверно определять и прогнозировать устойчивость лесов под влиянием рекреации.

Вопросы роста хвойных видов деревьев в урбанизированной среде разработаны пока довольно слабо. Особенности реакций меристем *P. abies* на экологические факторы в условиях разной степени нарушенности носят противоречивый характер. В Карелии подобные исследования ранее не проводились.

Цель работы – изучение влияния экологических факторов на сезонный рост *P. abies* в древостоях различной степени нарушенности в южной Карелии.

Объекты и методы исследования

Сезонный рост вегетативных органов *P. abies* изучали в южной Карелии в 2001–2005 гг. в условиях различной степени нарушенности: в городе (урбанизированная среда), пригородных лесах (примыкающие к границам города), лесах зеленой зоны (ненарушенные древостои, расположенные в 5 км южнее г. Петрозаводска). Преобладающее направление ветра в районе исследований – с юго-запада на северо-восток, в связи с чем леса зеленой зоны не подвержены вредному влиянию городских поллютантов. Объектами исследований в пригородных лесах и лесах зеленой зоны служили чистые по составу приспевающие (70–90 лет) древостои кисличного, черничного, приручейного и травяного ельников.

Сезонный рост побегов изучали по методикам [4], [9] и [15]. Длину стеблей (далее побегов) второго порядка ветвления измеряли с юго-западной части кроны на высоте около 2 м. Наблюдения проводили через каждые 3 сут. с момента набухания вегетативных почек до заложения зимующих вегетативных почек. Длину хвои измеряли у основания этих же стеблей с момента распускания вегетативных почек до полного прекращения их роста через каждые 3 сут.

Формирование древесины ствола изучали по методике [9]. У каждого учетного дерева после начала деятельности камбия отбирали образцы древесины через каждые 5 сут. по воображаемой спирали – слева направо и снизу вверх.

Для просмотра препаратов древесины использовали микротом GRANUM-202 [16]. Ширину растущего слоя древесины измеряли в 3 местах с точностью до 1 мкм, при помощи микроскопа МБМ с микрометром МОВ (от камбиальной зоны до зоны поздней древесины прошлого года).

Данные о температуре воздуха предоставлены Петрозаводской гидрометобсерваторией (Сулажгорская метеостанция). Объем выборки для каждого срока наблюдений (по каждому виду) составил по 20 побегов, хвоинок и тканей ствола. Суточный прирост определяли как разницу в величинах показателя между последующим и предшествующим наблюдениями, отнесенную к числу суток этого периода.

Санитарное состояние деревьев устанавливали по методике [8]. Маршрутное обследование осуществляли по ходовым линиям. На каждой пробной площади в перечет включали 100 деревьев. Для каждого из них выявляли категорию состояния по санитарным правилам [11].

По результатам наблюдений за ростом вегетативных органов был сформирован банк данных, обработанный с помощью рекомендуемых для этих целей методов [3]. Выявлено, что при определении среднеарифметической величины прироста побегов показатель точности опыта составляет 4–5 %, а коэффициент вариации – 20 %; для хвои – 1–2 и 10–13 %, для ствола – 5–6 и 33 % соответственно.

Результаты исследования и их обсуждение

Санитарное состояние древостоев. Работы ученых [7, 12, 13] свидетельствуют о негативном влиянии рекреации на рост и состояние растительности, в т. ч. и лесной. Наиболее объективным интегральным показателем состояния деревьев является интенсивность их роста, а именно – прирост за вегетационный период (годовой прирост).

Проведенные исследования выявили довольно высокие санитарно-гигиенические свойства всех изученных древостоев. Высший балл по этому критерию установлен для древостоев на 38,7 % площади обследованной территории, а средний балл – на 55,6 % площади (табл. 1).

Все древостои оценены по категориям состояния. Если средневзвешенный балл состояния составлял 1–1,5, то древостой относили к категории «условно здоровый», если 1,6–2,5 – к категории «ослабленный», если более 2,5 – «сильно ослабленный». Категория состояния древостоев в лесах зеленой зоны оценивается 1,2–1,5 балла, а в пригородных – 2,1–2,7 балла. Усыхающих и сухостойных деревьев в зеленой зоне не обнаружено, а в пригороде их доля составила 15...36 % от общего числа. В целом ельники пригородных лесов относятся к категории ослабленных, а ельник приручейный – к категории сильно ослабленных.

Изменения, происходящие в лесных сообществах под влиянием рекреации, принято характеризовать стадиями рекреационной дигрессии. Древостои пригородных лесов в той или иной степени подвержены такой дигрессии. При этом около 59 % площади составили участки с изменениями среды средней степени (III стадия рекреационной дигрессии), а 19 % – с изменениями сильной степени (IV стадия рекреационной дигрессии).

Таблица 1

Характеристика состояния древостоев в пригородных лесах и лесах зеленой зоны

Тип условий произрастания ельника	Распределение деревьев, %, в зависимости от балла по категории состояния						Средневзвешенный балл состояния
	1	2	3	4	5	6	
<i>Леса зеленой зоны</i>							
Кисличный	83	13	4	0	0	0	1,2
Черничный	79	12	7	2	0	0	1,3
Приручейный	70	4	24	0	2	0	1,6
Травяной	75	17	7	1	0	0	1,3
<i>Пригородные леса</i>							
Кисличный	30	12	39	16	3	0	2,5
Черничный	34	19	30	15	2	0	2,3
Приручейный	29	15	20	31	5	0	2,7
Травяной	42	27	16	14	1	0	2,1

Примечание: Учитывались деревья с диаметром на высоте 1,3 м более 8 см.

Наиболее негативно рекреация сказалась на древостоях приручейного и кисличного ельников (IV стадии рекреационной дигрессии). В первом средневзвешенный балл состояния составил 2,7, а во втором – 2,5 (табл. 1). В ельнике приручейном доля здоровых деревьев – 29 %, а в кисличном – 30 %. Доля усыхающих деревьев и сухостоя достигла здесь соответственно 36 и 19 %.

Черничный и травяной ельники характеризуются III стадией рекреационной дигрессии (средневзвешенные баллы состояния – 2,3 и 2,1 соответственно); доля здоровых деревьев – 34 и 42 % соответственно, усыхающих и сухостойных деревьев – 17 и 15 %.

В зеленой зоне неблагоприятных изменений лесной среды не выявлено (I стадия рекреационной дигрессии). Доля здоровых деревьев составила 70...83 %. При этом средневзвешенный балл состояния 1,2...1,5, что соответствует категории «условно здоровый». Данные табл. 1 показывают, что с увеличением рекреационной дигрессии уменьшается количество здоровых деревьев и увеличивается число усыхающих и сухих. Результаты корреляционного анализа ($r = -0,98$) подтверждают установленную зависимость.

Сезонный рост вегетативных органов

Рост побегов в длину. Исследования доказали, что сроки начала роста побегов *P. abies* связаны с повышением среднесуточной температуры воздуха до +10,7...+13,9 °C (табл. 2, 3). Погодичная вариация дат начала этой фазы может достигать 2–15 сут. Раньше всего рост побегов начинается у деревьев в условиях города (6–7.V), а затем в пригородных лесах (13–16.V).

Наступление кульминации прироста побегов отмечалось с 13 по 28.VI и достигало суточного максимума в пригородных лесах в кисличном и травяном ельниках – 2,2–3,1 мм (табл. 4). Корреляционный анализ позволил выявить ($r = +0,41...+0,67$) существенное влияние температуры воздуха на интенсивность этого процесса только в докульминационный период, что подтверждается и выводами других ученых [6, 10].

Таблица 2

Температурный режим воздуха в период роста деревьев *Picea abies* в городе (по данным за 2004 г.)

Объект исследования	Начало роста			Кульминация прироста			Окончание роста		
	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С
Центр города	7.V	13,3	95	13–15.VI	13,4	444	9.VII	17,5	814
	6.V	10,7	82	12–14.VI	13,3	418	14.VII	16,2	900
<i>Хвоя</i>									
Центр города	22.V	8,4	195	23–25.V	9,7	224	6.VII	15,4	766
Окраина города	21.V	9,8	205	28–30.V	13,7	378	8.VII	16,4	797

Таблица 3

Температурный режим воздуха в период роста деревьев *Picea abies* в пригородных лесах (ельник черничный)

Орган дерева	Год наблюдений	Начало роста			Кульминация прироста			Окончание роста		
		Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С
Побеги	2003	13.V	11,7	137	17–28.VI	10,9	574	26.VII	21,0	1146
	2004	15.V	12,5	139	14–21.VI	19,5	464	17.VII	17,3	950
	2005	16.V	13,9	109	13–19.VI	19,2	538	19.VII	11,2	1128
Хвоя	2003	20.V	9,5	217	8–14.VI	10,5	454	1.VII	15,8	673
	2004	2.VI	11,9	319	11–17.VI	23,5	444	14.VII	16,2	900
	2005	18.V	11,0	135	24–30.V	15,1	275	30.VI	15,1	752
Ствол	2003	10.VI	11,3	449	10–20.VII	19,0	930	27.VIII	10,0	1690
	2004	10.VI	12,1	382	30.VI–10.VII	18,6	751	21.VIII	16,7	1525
	2005	3.VI	10,0	327	23.VI–3.VII	17,1	743	13.VIII	16,6	1567

За годы наблюдений сроки прекращения роста побегов изменялись в пределах 1-2 недель. Рост побегов заканчивался почти одновременно во всех изучаемых условиях произрастания.

Исследования показали, что с уменьшением степени нарушенности среды обитания годичный прирост побегов увеличивается. Так, значение этого показателя в лесах зеленой зоны больше, чем в городских и пригородных древостоях, в среднем соответственно на 12 и 16 % (табл. 4, 5).

Продолжительность роста побегов *P. abies* в разных типах сообществ различалась несущественно, варьируя по годам от 58 до 78 сут. Ряд ученых [13, 14, 18, 19] полагает, что даже при незначительной рекреационной дигрессии, а также вблизи источников выбросов поллютантов, морфометрические показатели, в т. ч. и размер побегов, существенно уменьшаются.

Рост хвои в длину. Рост хвои *P. abies* начинается через 1–3 недели после того, как идут в рост побеги (табл. 2, 3). Данные сроки варьируют по годам (18.V–2.VI), но с условиями произрастания не связаны. Температура в этот время повышается до +8,4...+11,9 °С.

Раньше всего кульминация прироста хвои наблюдалась в условиях урбанизированной среды (23–30.V), а в пригородных лесах намного позднее – 11–17.VI. Максимальный прирост хвои за годы исследований достигал 0,5–0,8 мм/сут (табл. 4). Наиболее заметна зависимость между интенсивностью этого процесса и температурой воздуха в докульминационный период ($r = +0,43...+0,92$). Такая закономерность прослеживается на протяжении всего периода роста ($r = +0,35...+0,41$). К подобным выводам пришли и другие исследователи [6, 10].

Рост хвои раньше всего заканчивался в условиях города – 6–8.VII, а в пригородных лесах – только 14.VII.

Наиболее длительный период формирования хвои *P. abies* установлен в урбанизированной среде (45–47 сут.). В пригородных лесах он составил всего 42 дня.

Самая длинная хвоя (16,6–19,7 мм) формируется в ненарушенных условиях – в лесах зеленой зоны. В насаждениях города величина этого показателя значительно меньше – всего 12,8–15,0 мм (табл. 5). Отрицательное влияние условий урбанизированной среды на морфологические характеристики ассимиляционного аппарата отмечают и другие ученые [1, 24].

Радиальный рост стволов. Первые признаки формирования камбием древесины ствола (на высоте 1,3 м) наблюдались через 1–3 недели после начала роста хвои (табл. 3) при среднесуточной температуре +10...+11,1 °С одновременно на всех объектах исследования. Максимальная интенсивность прироста древесины (26–36 мкм за сутки) отмечалась при потеплении до +17,1...+19,0 °С (табл. 4). Результаты исследований, проведенных ранее, также свидетельствуют об усилении деятельности камбия ствола в связи с повышением температуры воздуха [6, 10, 20, 23].

Сроки прекращения формирования древесины ствола за годы исследований варьировали в значительных пределах (13–27.VIII). Продолжительность роста древесины составила 72–79 сут. (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики прироста побегов, хвои и стволов у деревьев *Picea abies* в разных типах сообществ пригородных лесов

Характеристики прироста	Ельник черничный			Ельник кисличный			Ельник приручейный			Ельник травяной		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
<i>Побеги</i>												
Максимальный суточный прирост, мм	1,9± ±0,08	2,8± ±0,12	3,1± ±0,13	2,2± ±0,09	2,4± ±0,10	3,1± ±0,13	2,3± ±0,09	1,5± ±0,06	1,8± ±0,07	2,4± ±0,10	2,3± ±0,09	3,1± ±0,13
Годичный прирост, мм	64,2±3	71,0±3	70,5±3	59,1±2	68,9±3	62,4±3	51,1±2	48,1±2	46,8±2	59,6±2	73,5±3	69,6±3
Продолжительность роста, сут	75	64	63	75	61	68	78	58	62	77	58	59
<i>Хвоя</i>												
Максимальный суточный прирост, мм	0,8± ±0,01	0,7± ±0,01	0,6± ±0,01	0,8± ±0,01	0,8± ±0,01	0,7± ±0,01	0,7± ±0,01	0,6± ±0,01	0,5± ±0,01	0,7± ±0,01	0,7± ±0,01	0,7± ±0,01
Годичный прирост, мм	15,0± ±0,20	12,8± ±0,17	13,0± ±0,17	13,6± ±0,18	13,6± ±0,18	14,2± ±0,18	15,6± ±0,21	11,3± ±0,15	11,2± ±0,15	14,2± ±0,18	13,4± ±0,17	12,6± ±0,17
Продолжительность роста, сут	43	43	44	43	40	37	42	34	37	41	43	40
<i>Стволы</i>												
Максимальный суточный прирост, мкм	27± ±3,0	27± ±3,0	26± ±2,9	36± ±4,0	37± ±4,1	29± ±3,2	32± ±3,5	29± ±3,2	29± ±3,2	33± ±3,7	36± ±4,0	30± ±3,3
Годичный прирост, мм	2,15± ±0,24	2,26± ±0,25	2,06± ±0,23	2,30± ±0,26	2,43± ±0,27	2,19± ±0,24	1,73± ±0,19	1,88± ±0,21	1,69± ±0,19	1,92± ±0,21	2,10± ±0,23	1,79± ±0,20
Продолжительность роста, сут	79	73	72	79	73	72	72	73	72	75	73	72

Таблица 5

Годичный прирост побегов и хвои *Picea abies* в древостоях разной степени нарушенности

Объект исследования	Показатель	Год наблюдений					M±m	σ
		2000	2001	2002	2003	2004		
Городские насаждения	Длина побега, мм	67± ±2,8	58± ±2,4	53± ±2,2	71± ±2,9	71± ±2,9	64,0± ±14,3	32,0
	Длина хвои, мм	15± ±0,20	15± ±0,20	14± ±0,19	13± ±0,18	13± ±0,18	14,0± ±3,10	7,0
	Число хвои на побеге, шт.	21± ±0,87	28± ±1,16	30± ±1,25	43± ±1,80	55± ±2,30	35,4± ±7,90	17,7
Пригородные леса	Длина побега, мм	63± ±2,7	61± ±2,5	62± ±2,6	61± ±2,5	62± ±2,6	62,0± ±13,8	31,0
	Длина хвои, мм	15± ±0,20	15± ±0,20	15± ±0,20	15± ±0,20	16± ±0,30	15,2± ±3,35	7,5
	Число хвои на побеге, шт.	21± ±0,87	31± ±1,29	42± ±1,75	55± ±2,29	68± ±2,80	43,4± ±9,70	21,7
Леса зеленой зоны	Длина побега, мм	67± ±2,80	78± ±3,25	72± ±3,00	66± ±2,70	68± ±2,80	70,2± ±15,70	35,1
	Длина хвои, мм	17± ±0,23	18± ±0,24	17± ±0,23	17± ±0,23	16± ±0,22	17,0± ±3,80	8,5
	Число хвои на побеге, шт.	41± ±1,70	48± ±2,00	61± ±2,50	61± ±2,50	66± 2,75	55,4± ±12,30	27,7

Примечание: M±m – среднее значение и ошибка среднего арифметического; σ – среднеквадратическое отклонение. Результаты достоверны с вероятностью 0,95.

Годичный прирост вегетативных органов

Прирост побегов в длину. Исследования показали, что годичный прирост побегов *P. abies* в пригородных лесах, подверженных рекреационной дигрессии, существенно снижается по сравнению с приростом в ельниках зеленой зоны, не подверженных таковой. Так, в ельнике кисличном этот показатель у древостоев на IV стадии рекреационной дигрессии в среднем меньше на 18 %, чем у древостоев зеленой зоны I стадии (табл. 6). Подобные различия у ельника приручейного достигают 26 %, у черничного – 4 %, у травяного – 9 %.

В пригородных лесах приручейные ельники наиболее интенсивно посещаются населением, поэтому доля вытоптанного напочвенного покрова в них наибольшая – 16 %. Величина данного показателя в древостоях черничного и травяного типов значительно меньше – 6 и 8 % соответственно. Ельники зеленой зоны находятся на I стадии рекреационной дигрессии, и площадь уплотненной поверхности почвы составляет всего 0,4–0,9 %. Обнаруженная прямая зависимость между рекреационной дигрессией и площадью уничтоженного напочвенного покрова подтверждается результатами корреляционного анализа ($r = +0,92$).

Таблица 6

Годичный прирост (мм) побегов, хвой и стволов *Picea abies* в сообществах разных типов различной степени нарушенности

Год наблюдений	Ельник черничный		Ельник кисличный		Ельник травяной		Ельник приручейный	
	Зеленая зона (I)	Пригородные леса (III)	Зеленая зона (I)	Пригородные леса (IV)	Зеленая зона (I)	Пригородные леса (III)	Зеленая зона (I)	Пригородные леса (IV)
<i>Побеги</i>								
2003	65,4±2,7	64,2±2,7	60,2±2,5	59,1±2,5	64,0±2,7	59,6±2,5	60,4±2,5	51,1±2,1
2004	72,8±3,0	71,0±3,0	86,2±3,6	68,9±2,9	80,1±3,3	73,5±3,1	70,4±2,9	48,1±2,0
2005	75,3±3,1	70,5±2,9	84,6±3,5	62,4±2,6	77,9±3,2	69,6±2,9	65,6±2,7	46,8±1,9
<i>Хвоя</i>								
2003	19,7±0,26	15,0±0,20	60,2±2,50	13,6±0,18	18,3±0,24	14,2±0,18	16,5±0,22	15,6±0,21
2004	17,1±0,23	12,8±0,17	86,2±3,60	13,6±0,18	17,6±0,23	13,4±0,17	14,8±0,20	11,3±0,15
2005	16,6±0,22	13,0±0,17	84,6±3,50	14,2±0,18	15,9±0,21	12,6±0,17	15,9±0,21	11,2±0,15
<i>Ствол</i>								
2003	2,58±0,29	2,15±0,24	2,76±0,31	2,30±0,26	2,51±0,28	1,92±0,21	2,88±0,32	1,73±0,19
2004	2,67±0,30	2,26±0,25	2,85±0,32	2,43±0,27	2,59±0,29	2,10±0,23	2,95±0,33	1,88±0,21
2005	2,39±0,27	2,06±0,23	2,52±0,28	2,19±0,24	2,35±0,26	1,79±0,20	2,76±0,28	1,69±0,19

Примечание: М – среднее арифметическое значение; ±m – ошибка среднего арифметического; I, III, IV – стадии рекреационной дигрессии.

Обнаружено, что с увеличением поверхности уплотненной почвы годичный прирост побегов закономерно снижается в разных типах сообществ. Так, в пригородных лесах в результате возрастания доли утоптанной поверхности почвы на 6...24 % годичный прирост побегов меньше на 4–26 % по сравнению с приростом в зеленой зоне. В последней доля уплотненной поверхности почвы составляла всего 0,5–0,9 %. Таким образом, годичный прирост побегов с уплотнением поверхности почвы связан обратно пропорциональной зависимостью ($r = -0,89$).

Прирост хвои в длину. В ходе исследований доказано, что с усилением рекреационной дигрессии годичный прирост хвои *P. abies* снижается (табл. 6). В пригородных лесах (III и IV стадии рекреационной дигрессии) величина этого показателя в среднем на 17...24 % меньше, чем в тех же типах лесных сообществ зеленой зоны.

Установлена следующая закономерность: с увеличением площади вытоптанной поверхности годичный прирост хвои *P. abies* уменьшается. Интенсивность рекреационного воздействия по-разному отражается на снижении данного показателя в разных типах лесных сообществ. Например, годичный прирост хвои в пригородных лесах по сравнению с лесами зеленой зоны уменьшился в ельнике травяном на 22 %, в приручейном – на 19 %, в кисличном – на 17 %.

Наименьшая охвоенность побегов отмечена в условиях города, характеризующихся максимальной степенью рекреационной дегрессии (см. табл. 5). Здесь величина годичного прироста хвои по сравнению с лесами зеленой зоны снижается на 16...20 %.

Радиальный прирост ствола. Как показали исследования, в ельниках зеленой зоны формируется гораздо более широкое годичное кольцо, чем в пригородных лесах, находящихся на III и IV стадиях рекреационной дигрессии (табл. 6). При этом различия данного показателя зависят от типа лесного сообщества, достигая 15...38 %. Результаты корреляционного анализа свидетельствуют об отрицательной зависимости между годичным радиальным приростом ствола и усилением степени рекреационной дегрессии ($r = -0,83$).

Обнаружено, что в древостоях всех изученных типов сообществ годичный радиальный прирост уменьшается с увеличением площади вытоптанного напочвенного покрова, а значит и с уплотнением поверхности почвы. Так, в ельниках пригородных лесов величина этого показателя по сравнению с древостоями соответствующих типов сообществ зеленой зоны снизилась на 15...38 %. Вполне закономерно, что в древостоях пригорода выявлена и максимальная доля вытоптанного напочвенного покрова – 24 %. Результаты корреляционного анализа подтверждают найденную закономерность ($r = -0,77$).

Выводы

1. Рекреационные нагрузки оказывают сильнейшее влияние на санитарное состояние ельников. С усилением рекреационной дигрессии число здоровых деревьев сокращается примерно на треть, а число усыхающих и сухостойных увеличивается на соответствующую величину. Леса зеленой зоны относятся к условно здоровым (по состоянию 1,2–1,5 балла), а пригородные леса – к категории ослабленных (2,1–2,7 балла). В лесах зеленой зоны усыхающих и сухостойных деревьев нет, а в пригородных лесах их доля достигает 36 % от общего числа. Площадь пригородных лесов в III стадии рекреационной дигрессии составляет 59 %, а в IV стадии – 19 %.

2. Рост побегов *P. abies* в черте города начинается на 2 недели раньше, чем в пригородных лесах. Кульминация прироста в городе отмечалась с 13 по 28.VI, запаздывая в пригородных лесах на 1–5 дней. Суточный прирост побегов в пригородных древостоях достигал максимума в кисличном и травяном ельнике – 2,2...3,1 мм. Процесс заканчивался почти одновременно во всех исследуемых условиях. Его продолжительность в разных типах сообществ отличалась незначительно, варьируя по годам от 58 до 78 сут. Годичный прирост побегов в лесах зеленой зоны больше, чем в городских и пригородных, в среднем соответственно на 16 и 12 %.

3. Сроки начала роста хвои *P. abies* варьируют по годам (18.V–2.VI) и с условиями произрастания не связаны. Раньше всего кульминация этого процесса наблюдалась в условиях урбанизированной среды (23–30.V). Максимальный прирост хвои за годы исследований достигал 0,5–0,8 мм/сут. рост хвои заканчивался сначала в условиях города – 6–8.VII, а потом в пригородных лесах – 14.VII. Наиболее длительный период формирования хвои установлен в урбанизированной среде (45–47 сут.). Самая длинная хвоя (16,6–19,7 мм) формируется в лесах зеленой зоны, а в насаждениях города величина этого показателя составляет всего 12,8–15,0 мм.

4. Начало формирования камбием древесины ствола отмечается одновременно на всех объектах исследования. Максимальный суточный прирост составлял 26–36 мкм. Сроки прекращения формирования древесины ствола за годы исследований варьировали в значительных пределах (13–27.VIII). Продолжительность ее роста была 72–79 сут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Барайшчук Г.В., Гайвас А.А. Состояние хвойных насаждений Омска // Лесн. хоз-во. 2005. № 1. С. 33–34.

Barayshchuk G.V., Gayvas A.A. The State of Coniferous Plantations of Omsk. *Lesnoe khozyaystvo*, 2005, no. 1, pp. 33–34.

2. Бухарина И.Л., Поварнищина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: моногр. Ижевск: Ижевская ГСХА. 2007. 216 с.

Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Vedernikov K.E. *Ecological and Biological Features of Woody Plants in an Urbanized Environment*. Izhevsk, IzhGSHA Publ., 2007. 216 p.

3. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

Zaytsev G.N. *Mathematical Statistics in Experimental Botany*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p.

4. Елагин И.Н. Методика проведения и обработки фенологических наблюдений за деревьями и кустарниками в лесу // Фенологические методы изучения лесных биогеоценозов / отв. ред. И.Н. Елагин, Т.Н. Буторина. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1975. С. 3–20.

Elagin I.N. Methodology for Conducting and Processing Phenological Observations of Trees and Shrubs in the Forest. *Phenological Methods for the Study of Forest Biogeocenoses*. Ed. by I.N. Elagin, T.N. Butorina. Krasnoyarsk, Institut lesa i drevesiny SO AN SSSR Publ., 1975, pp. 3–20.

5. Кищенко И.Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства *Pinaceae* Lindl. в условиях Карелии. Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. 211 с.

- Kishchenko I.T. *Growth and Development of Aboriginal and Introduced Species of the Pinaceae Lindl. Family in Karelia*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2000. 211 p.
6. Кищенко И.Т., Вантенкова И.В. Влияние экологических факторов на сезонный рост *Picea abies* L. (Karst.) в Северной Карелии // Экология. 2007. № 2. С. 111–116.
- Kischenko I.T., Vantenkova I.V. Effects of Environmental Factors on the Seasonal Growth of *Picea abies* L. (Karst.) in Northern Karelia. *Ekologia* [Russian Journal of Ecology], 2007, no. 2, pp. 111–116. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1067413607020063>
7. Лямеборшай С.Х., Пугаев А.С. Методика и программа определения экологического ущерба в лесу // Лесн. хоз-во. 2005. № 4. С. 29–32.
- Lyameborshay S.Kh., Pugayev A.S. Methodology and Program for Determining Environmental Damage in the Forest. *Lesnoye khozyaystvo*, 2005, no. 4, pp. 29–32.
8. Мозолевская Е.Г., Белова Н.К., Куликова Е.Г., Соколова Э.С., Липаткин В.А., Шарара Т.В., Сураппаева В.М., Щербakov А.Н., Белов Д.А., Мазитов С.В. Итоги мониторинга состояния зеленых насаждений и городских лесов Москвы в 1997 году // Лесн. вестн. 1998. № 2. С. 14–28.
- Mozolevskaya E.G., Belova N.K., Kulikova E.G., Sokolova E.S., Lipatkin V.A., Sharara T.V., Surappayeva V.M., Shcherbakov A.N., Belov D.A., Mazitov S.V. The Results of Monitoring the State of Greenery and Urban Forests in Moscow in 1997. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 1998, no. 2, pp. 14–28.
9. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.
- Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Methods of Studying the Growth of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 95 p.
10. Робакидзе Е.А., Патов А.И. Рост хвои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в зависимости от экологических факторов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2011. № 3. С. 7–14.
- Robakidze E.A., Patov A.I. Needles Growth of Siberian Spruce Depending on Environmental Factors. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2011, no. 3, pp. 7–14. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/fa7/nwiq1.pdf>
11. Правила санитарной безопасности в лесах [Текст]: утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2017 г. № 607. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217315/0b3dfd4779a800d94c98bb0d44cd53e-1dae94450/ (дата обращения: 27.04.21).
- Sanitary Safety Rules in Forests: Approved by Decree of the Government of the Russian Federation of May 20, 2017 No. 607.*
12. Синькевич С.М. Динамика древесного прироста в зонах техногенных эмиссий // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России: сб. науч. тр. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 130–143.
- Sin'kevich S.M. Dynamics of Tree Growth in the Areas of Technogenic Emissions. *Bioecological Aspects of Monitoring Forest Ecosystems of the North-West of Russia: Collection of Academic Papers*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2001, pp. 130–143.
13. Таран И.В., Спиридонов В.Н., Беликова Н.Д. Леса города. Новосибирск: СО РАН, 2004. 196 с.
- Taran I.V., Spiridonov V.N., Belikova N.D. *The Forests of the City*. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2004. 196 p.
14. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука. 2002. 191 с.
- Chernen'kova T.V. *Reaction of Forest Vegetation to Industrial Pollution*. Moscow, Nauka Publ., 2002. 191 p.
15. Шульц Г.Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 188 с.
- Shul'ts G.E. *General Phenology*. Leningrad, Nauka Publ., 1981. 188 p.
16. Яценко-Хмельевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.; Л.: Акад. наук СССР, 1954. 338 с.

Yatsenko-Khmelevskiy A.A. *Fundamentals and Methods of Anatomical Studies of Wood*. Moscow, Nauka Publ., 1954. 338 p.

17. Driesen D.M. The Societal Cost of Environment Regulation: Beyond Administrative Cost-Benefit Analysis. *Ecology Law Quarterly*, 1997, vol. 24, iss. 3, pp. 545–617. DOI: <https://doi.org/10.15779/Z38K54F>

18. Gloriod G. Reflexions et souvenirs, a propos d'une reforme douloureuse. *Bulletin trimestriel – Société forestière de Franche-Comté et des provinces de l'Est*, 2003, no. 7, pp. 595–605.

19. Jeanes T.G. Multiple Use in Man-Made Forest. *The Forestry Chronicle*, 1987, vol. 63, no. 2, pp. 108–111. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc63108-2>

20. Leikola M. The Influence of Factors on the Diameter Growth of Forest Trees: Auxanometric Study. *Acta Forestalia Fennica*, 1969, vol. 92, art. 7610. DOI: <https://doi.org/10.14214/aff.7610>

21. Lu X., Mo J., Dong S. Effects of Nitrogen Deposition on Forest Biodiversity: A Review. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, vol. 28, iss. 11, pp. 5532–5548. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(09\)60012-3](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(09)60012-3)

22. Malmivaara M., Löfström I., Vanha-Majamaa I. Anthropogenic Effects on Understorey Vegetation in Myrtillus Type Urban Forests in Southern Finland. *Silva Fennica*, 2002, vol. 36, no. 1, pp. 367–381. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.568>

23. Odin H. Studies of the Increment Rhythm of Scots Pine and Norway Spruce Plants. *Studia Forestalia Suecica*, 1972, no. 97. 32 p.

24. Trimbacher C., Weiss P. Needle Surface Characteristics and Element Contents of Norway Spruce in Relation to the Distance of Emissions Sources. *Environmental Pollution*, 1999, vol. 105, iss. 1, pp. 111–119. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00180-8)

GROWTH OF VEGETATIVE ORGANS OF *Picea abies* (L.) Karst. IN ANTHROPOGENIC ENVIRONMENT

Ivan T. Kishchenko¹, Doctor of Biology, Prof., Academician of RANH;

ResearcherID: [AAC-1083-2019](https://orcid.org/0000-0002-1039-1020), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1039-1020>

Elena S. Olkhina², Candidate of Biology, Senior Lecturer; ResearcherID: [AAG-1839-2021](https://orcid.org/0000-0003-3476-2946),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3476-2946>

¹Petrozavodsk State University, prosp. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: ivanki@karelia.ru

²Petrozavodsk Forestry Technical School, ul. Kalinina, 41, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185003, Russian Federation; e-mail: olkhin@psu.karelia.ru

Abstract. The studies were carried out in stands of various degree of devastation: in the city, suburban forests and forests of the green zone. Recreational loads strongly affect the sanitary condition of spruce forests. The number of healthy trees decreases to 30–42 % with increasing recreational digression, while the number of declining and dead trees increases to 15–36 %. The state of tree stands in the forests of the green zone is estimated at 1.2–1.5 points, and 2.1–2.7 points in the suburban forests. No declining and dead trees were found in the forests of the green zone, and in the suburban forests their share was 15 and 36 % of the total number, respectively. Therefore, generally, spruce suburban forests are classified as weakened. Approximately 59 % of the area of suburban forests is in the III stage of recreational digression, and 19 % – in the IV stage. Growth studies of *P. abies* showed that the features of these processes are determined mainly by the seasonal variability of climatic factors. Studies have shown that the features of growth processes of *P. abies* are determined mainly by seasonal variation of meteorological factors. It was found that the earliest growth of shoots

and needles begins and ends in the urban environment. The year-by-year variability in the timing of these phenophases reaches 1–2 weeks. Soil compaction as a result of recreational loads has a particularly negative effect on the intensity of tree growth and annual growth of vegetative organs. Shoots of *P. abies* in green forests (undisturbed stands) are longer than in suburban and urban plantations by 2–30 % and 6–17%, respectively. The longest needles (16.6–19.7 mm) are formed in the forests of the green zone. In urban plantations this value is 12.8–15.0 mm. The smallest needle packing was found in the city conditions, characterized by the maximum degree of recreational digression. Here, the annual radial increment of the trunk of *P. abies* under the influence of recreational loads decreases by 16–20 % compared to the forests of the green zone. The sequence in the growth phenophases does not depend on the degree of environmental disturbance. The shoots are the first to grow (in May), young needles after 1 or 2 weeks, and then the formation of wood in the lower part of the trunk begins. The sequence in stopping the growth processes is as follows: shoots, needles, trunks.

For citation: Kishchenko I.T., Olkhina E.S. Growth of Vegetative Organs of *Picea abies* (L.) Karst. in Anthropogenic Environment. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 3, pp. 59–72. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-3-59-72

Funding: The research was carried out with the support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-44-100002 p_a).

Keywords: recreation, *Picea abies*, growth, shoots, needles, trunks, anthropogenic factors.