

УДК 630\*160:582.47

*Р. И. Винокурова, О. В. Силкина***РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХВОИ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ (*ABIES SIBIRICA* L.) И ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PICEA ABIES* L.)**

*Исследовано содержание микроэлементов и хлорофиллов a и b и выявлен общий характер их распределения и соотношения в растущей хвое деревьев ели *Picea abies* и пихты *Abies sibirica*. Установлена их взаимосвязь с параметрами роста хвои первого года вегетации в сезонной динамике. Представлено математическое уравнение, описывающее закономерности изменения содержания микроэлементов и хлорофиллов от динамики ростовых процессов исследованных видов растений. Предложен индекс расчета удельной скорости роста хвои растений *Picea abies* и *Abies sibirica*.*

**Введение.** Оценку физиологического состояния растительного организма проводят по параметрам роста и развития, с учетом степени активности фотосинтетического аппарата, который тесно взаимосвязан с пигментным составом и накоплением биомассы листьев или хвои, а также содержанием микроэлементов. Прирост хвои в длину и по массе происходит за счет активности меристематических тканей, которые составляют очень небольшую часть общей массы растений. Хвоя растений различных климатических зон растет с неодинаковой скоростью, и нередко активизация ее роста происходит с различной интенсивностью.

Продуктивность растений определяется важнейшим процессом синтеза органических веществ – фотосинтезом [1–4]. Выявлено, что в ряде случаев интенсивность фотосинтеза в растении может быть решающим фактором, определяющим скорость накопления сухого вещества. Задача повышения эффективности процесса фотосинтеза в свою очередь требует детального изучения деятельности пигментной системы, выполняющей многообразные функции, связанные с поглощением и трансформацией солнечной энергии. В работе Ю. Е. Андриановой и И. А. Тарчевского [5] показано, что с помощью данных о пигментном составе фотосинтезирующих органов можно определять потенциальную продуктивность лесного фитоценоза. Адаптационные свойства растений, их потенциальная продуктивность в значительной мере зависят от содержания хлорофиллов и обеспечения оптимальных условий для работы фотосинтетического аппарата, что в конечном итоге определяет рост и устойчивость растений [6, 4].

Во многих жизненных процессах, происходящих в растениях на молекулярном уровне, микроэлементы принимают самое активное участие. Действуя через ферментную систему или непосредственно связываясь с биополимерами растений, микроэлементы могут стимулировать или ингибировать процессы роста, развития и продуктивность древесных растений [7].

По своей физиолого-биохимической роли все микроэлементы можно разделить на два основных вида: микроэлементы, непосредственно входящие в состав ферментов, и микроэлементы, опосредованно влияющие на ферментативную активность растения.

К первому виду относятся такие элементы, как Cu, Co, Mn, Zn и Mo. Данные химические элементы входят в состав ферментов и белков, играют значительную роль в жизнедеятельности растения, влияют на процессы фотосинтеза и накопления пигментов в хлоропластах. Микроэлементы Ba, B, Cd, Be, Ag, V, Pb и ряд других оказывают значительное влияние на активность ферментов. Недостаток или полное отсутствие

данных элементов в почве или питательной среде негативно влияет на общий уровень всех физиологических процессов растительного организма.

**Цель** работы состояла в выявлении закономерностей роста и развития фотосинтезирующих органов хвойных деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*, произрастающих в естественных фитоценозах на фоновых территориях, в связи с особенностями формирования фотосинтетического аппарата и содержания микроэлементов в хвое разных лет вегетации.

**Объектом исследований** служили елово-пихтовые насаждения Республики Марий Эл. Изучение динамики содержания фотосинтетических пигментов и микроэлементов в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в связи с ее ростом проводили в 2003–2004 гг.

Описание пробных площадей приведено в работах Р. И. Винокуровой и др. [7]. Отбор проб проводили с 40–50-летних деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* в течение всего периода вегетации с интервалом в две недели. Пробы отбирали в одни и те же дневные часы. Для исследования хвои срезали ветви из верхней, средней и нижней частей кроны деревьев в четырех геодезических направлениях, с последующим разделением на хвою первого-пятого годов вегетации.

При исследовании динамики роста хвои использовали метод средней хвоинки, изложенный в работах А. А. Молчанова и В. В. Смирнова [2].

Для оценки физиологического состояния и развития хвои использовали термин «удельная скорость роста». По полученным первичным данным рассчитывали индекс роста ( $I$ ) и удельную скорость роста ( $\mu$ ) как по длине хвои, так и по ее массе.

Индекс роста по длине хвои ( $I_l$ ) и по массе хвои ( $I_m$ ) в момент времени ( $t_i$ ) определяли по формуле:

$$I_{l(m)} = X_i / X_0, \quad (1)$$

где  $X_0$  и  $X_i$  – значения критерия роста ( $l$  – длина хвои,  $m$  – масса хвои) в начальный момент времени и момент времени  $t_i$  соответственно.

Удельную скорость роста по длине хвои ( $\mu_l$ ) и по массе хвои ( $\mu_m$ ) в момент времени  $t_i$  определяли по формуле:

$$\mu_{l(m)} = (\ln X_i - \ln X_{i-1}) / (t_i - t_{i-1}), \quad (2)$$

где  $X_i$  и  $X_{i-1}$  – значения критерия роста ( $l$  – длина хвои,  $m$  – масса хвои) в момент времени  $t_i$  и  $t_{i-1}$  соответственно.

Для определения содержания ( $C$ ) хлорофилла а ( $X_{л а}$ ) и хлорофилла b ( $X_{л б}$ ) точную навеску хвои экстрагировали 80%-м раствором ацетона, после чего измеряли оптическую плотность экстракта ( $D$ ) на спектрофотометре СФ 26 на длинах волн 649 и 665 нм. [8]. Измерения проводили в трех биологических и трех аналитических повторностях. Концентрацию хлорофилла а ( $C_{X_{л а}}$ ), хлорофилла b ( $C_{X_{л б}}$ ) и суммарное содержание хлорофиллов ( $C_{X_{л а} + X_{л б}}$ ) рассчитывали по уравнениям Верона [9].

Для проведения химического анализа содержания микроэлементов в образцах хвои исследуемых растений использовали измельченные в зерновой мельнице воздушно-сухие образцы, которые поэтапно озоляли в муфельной печи (300–450<sup>0</sup>С) до получения светлой золы по принятой методике [10, 11]. Для возможности расчета на сухую массу специально определяли зольность растений. Содержание химических элементов (Pb, Mn, Mo, Zn, Co, Cu, B, Ba, Be, V, Ag, Ni, Cd, As) в золе растений определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (ААС) (спектрометр типа СЭ-1 на базе дифракционного спектрографа ДФС – 458С и регистрирующих устройств типа ФП-4, совмещенных с ПЭВМ), на базе аккредитованной лаборатории экологического контроля Казанского государственного университета (РОСС RU.0001.510958). Суммарная погрешность измерений массовой доли микрокомпонентов не превышала 15%.

Приведенное содержание микроэлемента ( $I_{MЭ}$ ) в определенный месяц вегетации определяли по формуле:

$$I_{MЭ} = X_i / X_0, \quad (3)$$

где  $X_0$  – абсолютное содержание микроэлемента в начале вегетации;

$X_i$  – абсолютное содержание микроэлемента в определенный месяц вегетации.

**Результаты исследования и их обсуждение.** При исследовании ростовых характеристик хвои пихты и ели выявлены закономерности развития хвои первого года вегетации по длине и накоплению биомассы.

Вначале происходит активное удлинение хвои деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* (рис.1,2). Для хвои деревьев *Picea abies* этот процесс происходит в течение первых 30 суток, причем рост идет по экспоненциальному закону. Удельная скорость роста при этом составляет около  $0,08 \text{ сут.}^{-1}$ . Это означает, что в сутки хвоинки удлиняются в среднем на 8% от начальной длины. После 30 суток удлинение хвои практически прекращается. Для *Abies sibirica* закономерности удлинения хвои несколько другие. Процесс роста хвои в длину более длителен (44 дня) и имеет 2 фазы: более интенсивную в первые 14 суток ( $\mu_1 = 0,11$ ) и менее интенсивную – до 44 суток ( $\mu_1 = 0,04$ ).

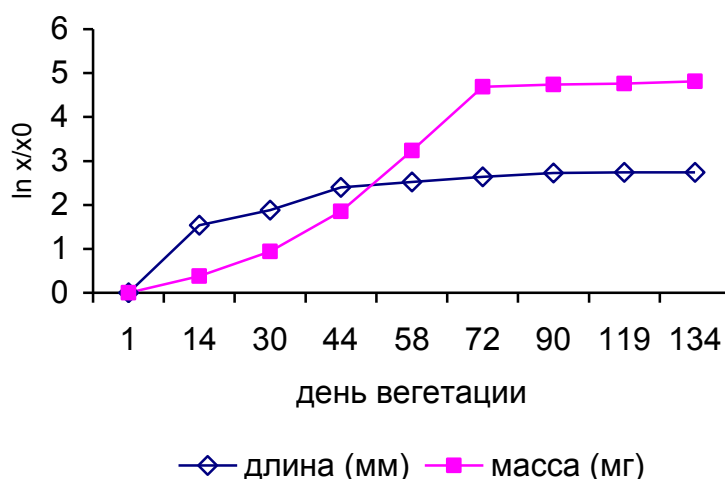


Рис. 1. График скорости относительного удлинения и накопления биомассы хвои первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* в ходе сезонной динамики

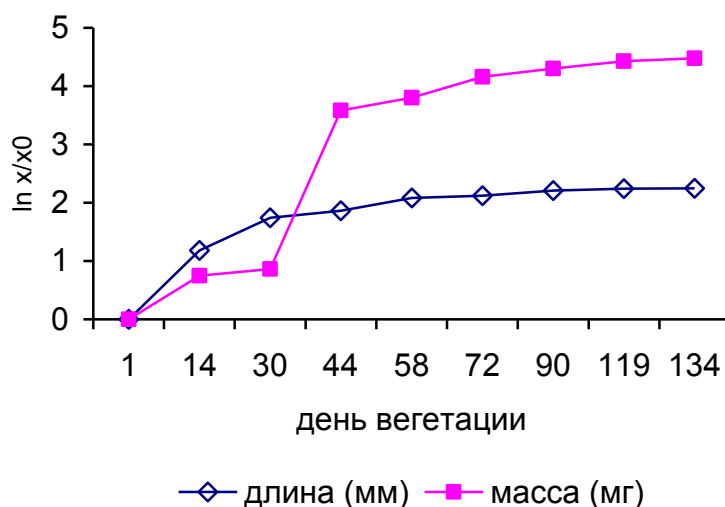


Рис. 2. График скорости относительного удлинения и накопления биомассы хвои первого года вегетации деревьев *Picea abies* в ходе сезонной динамики

Для обоих исследованных видов активное увеличение массы хвои начинается после замедления или остановки относительного роста хвои. Однако динамика этого процесса различна для хвои деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*. Для *Picea abies* (рис. 1) активное увеличение массы хвои с очень высокой удельной скоростью –  $0,2 \text{ сут}^{-1}$  (20% в сутки) наблюдается в период с 30 по 44 день вегетации.

Далее увеличение массы хвоинок практически заканчивается. Можно предположить, что к этому моменту хвоинка начинает активно функционировать.

Для *Abies sibirica* (рис. 2) к моменту замедления роста хвои в длину скорость увеличения массы возрастает и составляет ( $\mu_m = 0,11 \text{ сут}^{-1}$ ), что примерно в 2 раза ниже, чем максимальная удельная скорость увеличения массы хвоинок у деревьев *Picea abies*.

В целом период увеличения массы хвои для *Picea abies* гораздо меньше, чем для *Abies sibirica* (для *Picea abies* он заканчивается к 44 дню, для *Abies sibirica* – к 72).

Изменение ростовых характеристик хвои приводит к накоплению биомассы, соответственно к увеличению удельной скорости роста (формула 3). Сравнительный анализ фитопродукционной активности двух видов хвойных деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* (табл.1) показал, что удельная скорость роста хвои деревьев *Abies sibirica* в среднем в 1,7 раза выше, чем параметр данной величины для хвои деревьев *Picea abies*.

Таблица 1

Удельная скорость роста хвои первого года вегетации *Abies sibirica* и *Picea abies* в ходе сезонной динамики (2003–2004 гг.)

Дата отбора	День отбора	Удельная скорость роста хвои, мкг/сут.	
		<i>Abies sibirica</i>	<i>Picea abies</i>
15.V	1	$1,42 \pm 0,06$	$3,33 \pm 0,14$
29.V	14	$2,81 \pm 0,12$	$0,62 \pm 0,20$
13.VI	30	$11,14 \pm 0,47$	$98,13 \pm 4,06$
27.VI	44	$56,40 \pm 2,38$	$26,41 \pm 1,09$
10.VII	58	$172,92 \pm 10,25$	$57,11 \pm 1,36$
24.VII	72	$13,90 \pm 0,58$	$21,17 \pm 0,87$
12.VIII	90	$3,41 \pm 0,14$	$14,15 \pm 0,58$
11.IX	119	$16,75 \pm 0,10$	$12,72 \pm 0,53$
14.X	153	$5,36 \pm 0,22$	$15,34 \pm 0,63$
18.I	247	0	0
12.III	301	0	0

Однако в начале вегетации хвоя *Picea abies* активнее накапливает биомассу, удельная скорость роста данного вида хвойных составляет 3,3 мкг/сут. Хвоя деревьев *Abies sibirica* начинает накапливать биомассу менее интенсивно, однако в середине вегетации ее удельная скорость роста составляет 173 мкг/сут.

Полученные в эксперименте данные согласуются с результатами ряда научных исследований [3, 4, 10]. По уровню накопления фотосинтетических пигментов на единицу массы прироста хвои древесные породы хвойных располагаются в убывающем порядке: виды рода *Abies sp.*, рода *Picea sp.* и рода *Pinis sp.* [12].

При рассмотрении не только морфологической, но и физиологической характеристики хвои проведено сопоставление процесса роста хвои и динамики биосинтеза хлорофилла. В связи с этим представлен расчет приведенного содержания хлорофиллов ( $C_{\text{Хл}}$ ) в отдельной хвоинке обоих изученных видов. Для растений *Abies sibirica* основной биосинтез хлорофиллов происходит в июле (рис.3).

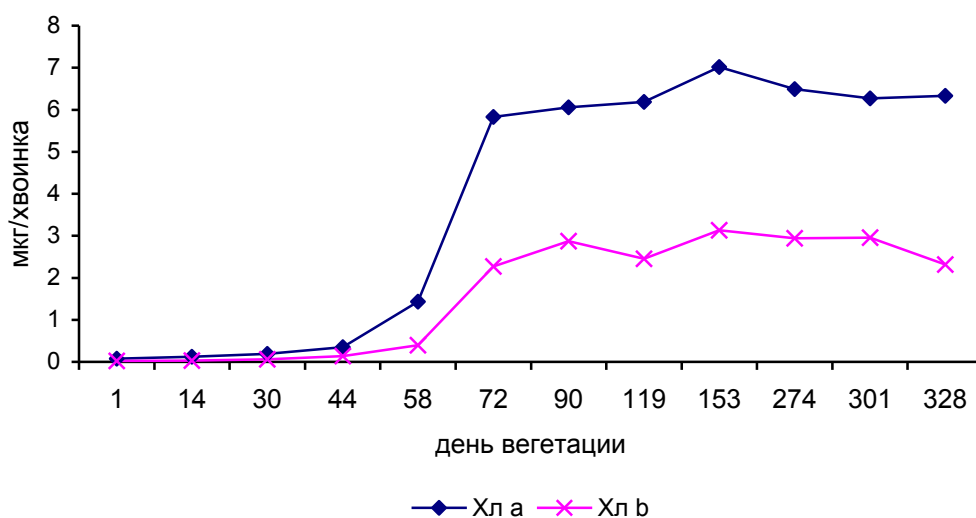


Рис. 3. Сезонная динамика накопления Хл а и Хл b в хвое первого года вегетации *Abies sibirica*

При этом за данный месяц количество Хл а и Хл b в хвое увеличивается в 16 – 17 раз (с 0,35 до 6 мкг и с 0,14 до 2,3 мкг соответственно). Аналогичные исследования для хвоинки *Picea abies* выявили ряд особенностей характера динамики накопления хлорофилла (рис.4).

Интенсивный синтез хлорофилла в хвое *Picea abies* протекает более длительно и начинается раньше – с середины июня до середины сентября. При этом вначале синтезируется Хл а. В конце периода накопления основного фотосинтетического пигмента начинается синтез Хл b.

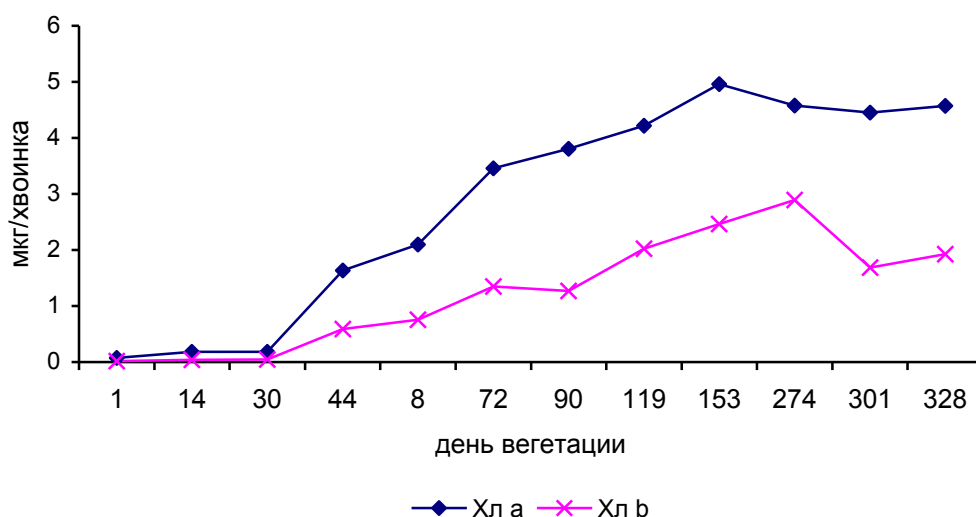


Рис. 4. Сезонная динамика накопления Хл а и Хл b в хвое первого года вегетации деревьев *Picea abies*

В июле (58–72 день вегетации) наблюдается максимальная интенсивность увеличения массы хвои и биосинтеза хлорофилла. Во время интенсивного накопления биомассы хвои происходит увеличение суммарного содержания хлорофиллов, по-видимому, за счет активного синтеза органических метаболитов. С августа (90–119 день вегетации) рост хвои и активный биосинтез хлорофиллов практически прекращается.

Выявлены математические зависимости динамики биосинтеза хлорофилла и изменения ростовых характеристик хвои деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica*.

Характер изменчивости приведенных значений содержания Хл а и Хл б и увеличения массы хвои первого года вегетации деревьев *Picea abies* и *Abies sibirica* описывается уравнением:

$$C_{\text{Хл а}} = (a) * I_m^b * \exp(-(c) * I_m) + (m). \quad (4)$$

Наблюдается тесная корреляция скорости биосинтеза фотосинтетических пигментов с накоплением биомассы хвои (табл.2).

Таблица 2

Параметры уравнения зависимости содержания Хл а и Хл б в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* от увеличения биомассы

Вид дерева	Параметр	Коэффициенты			$\Delta_{\text{max}}, \%$
		a	b	c	
<i>Abies sibirica</i>	$C_{\text{Хл а}}$	0,870	3,361	0,861	4,14
	$C_{\text{Хл б}}$	0,249	4,660	1,209	3,82
<i>Picea abies</i>	$C_{\text{Хл а}}$	0,422	5,686	1,701	1,12
	$C_{\text{Хл б}}$	0,472	2,376	0,735	0,57

Таким образом, в течение июля наблюдается максимальная интенсивность увеличения массы хвои и биосинтеза хлорофиллов. С августа рост хвои и активный биосинтез хлорофиллов практически прекращается.

Выявлены тесные корреляционные связи между изменением приведенного содержания Хл а и Хл б и увеличением массы и длины хвоинки в хвое первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* в ходе сезонной динамики.

В летний период, когда практически отсутствует накопительная динамика прироста хвои по массе, общее содержание хлорофиллов в молодой хвое также снижается. Такая коррелятивная зависимость подтверждается и средними значениями коэффициентов детерминации ( $R^2 = 0,33-0,45$ ) и критериев Фишера ( $F_{\text{факт.}} = 5,65-6,85 > F_{\text{станд.}} = 3,15-3,21$ ).

Коэффициенты уравнения (4) взаимосвязи между приведенными средними значениями содержания хлорофиллов в хвое, а также удельной скоростью прироста по длине и массе хвои в ходе сезонной динамики представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты математической модели, характеризующей изменчивость содержания Хл а и Хл б в ходе сезонной динамики в хвое деревьев *Abies sibirica*

Период	Параметр	Коэффициент математической модели			$\Delta_{\text{max}}, \%$
		a	b	c	
Весенний	$C_{\text{Хл а}}$	0,87	3,36	0,86	4,14
	$C_{\text{Хл б}}$	0,25	4,66	1,21	7,82
Летний	$C_{\text{Хл а}}$	0,42	5,69	1,70	1,12
	$C_{\text{Хл б}}$	0,47	2,38	0,74	0,57
Осенний	$C_{\text{Хл а}}$	1,76	1,87	0,56	8,34
	$C_{\text{Хл б}}$	16,56	0,03	0,10	2,98
Зимний	$C_{\text{Хл а}}$	55,81	0,04	0,01	3,55
	$C_{\text{Хл б}}$	16,82	0,48	0,02	5,71

Доверительная вероятность описываемых моделей  $100 - |\Delta_{\text{max}}, \%|$  довольно высока, такие значения подтверждают адекватность приведенных математических моделей.

Характер изменчивости приведенного содержания Хл а и Хл b и приведенных значений увеличения массы хвоинки ( $I_m$ ) для растущей хвои деревьев *Picea abies* на примере летнего периода вегетации (июнь-август) описан следующими уравнениями:

для Хл а ( $C_{Хл а}$ ):

$$C_{Хл а} = (0,453) * I_m^{1,759} * \exp(-(0,018) * I_m) + (0,435); \quad (5)$$

для Хл b ( $C_{Хл b}$ ):

$$C_{Хл b} = (0,520) * I_m^{1,308} * \exp(-(0,009) * I_m) + (0,089). \quad (6)$$

Графическое изображение приведенной математической модели (6) представлено на рис. 5.

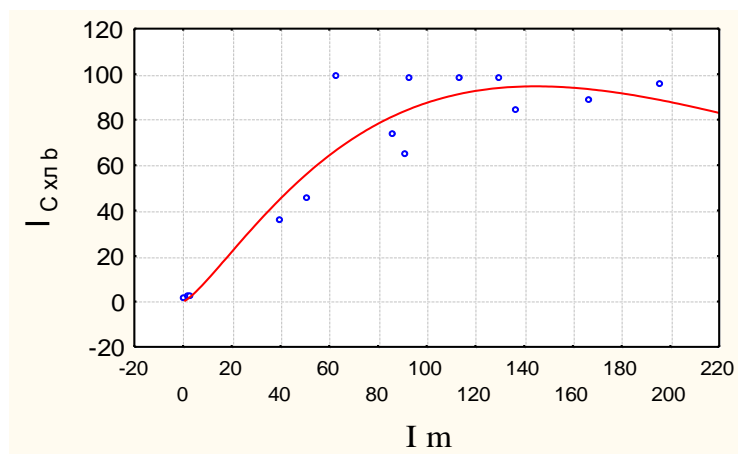


Рис.5. Зависимость изменения приведенного содержания хлорофилла b ( $I_{C_{Хл b}}$ ) от индекса роста по массе ( $I_m$ ) хвои первого года вегетации деревьев *Picea abies* в ходе сезонной динамики (летний период)

Анализ изменения содержания хлорофиллов в сопоставлении с интенсивностью роста хвои показывает, что для *Picea abies* наблюдается тесная корреляция скорости биосинтеза фотосинтетических пигментов с накоплением биомассы хвои в летний период вегетации с июня по август.

Изучение сезонной динамики микроэлементов в хвое первого года позволяет выявить следующие закономерности: максимальное содержание отмечено для двух микроэлементов – Ва и Mn, высокое содержание которых в хвое, по-видимому, связано с почвенно-химическими условиями произрастания изученных видов растений [7]. Минимальное – для As, Cd и Ag, роль которых в функционировании растений не установлена однозначно. В табл. 4 представлено среднее абсолютное содержание микроэлементов в хвое первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Возможно, столь большой диапазон в содержании микроэлементов в фотосинтезирующем органе связан с различной физиологической значимостью микроэлементов.

Для изучения динамики содержания в хвое микроэлементов, абсолютное количество которых отличается на несколько порядков (табл.4), целесообразно анализировать безразмерные величины ( $C_c$ ), нормированные относительно содержания в начальный период вегетации (6). При рассмотрении характера накопления и распределения микроэлементов в процессе вегетации хвои изученных растений выявлен ряд закономерностей, позволивших охарактеризовать их потребность в процессе фотосинтеза [13, 14].

Таблица 4

**Статистические показатели среднего содержания микроэлементов в хвое  
первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies***

МЭ	Статистические показатели									
	<i>Abies sibirica</i>					<i>Picea abies</i>				
	X	m <sub>x</sub>	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	V, %	X	m <sub>x</sub>	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	V, %
Ba	41,20	11,86	12,68	69,85	58	44,56	9,53	16,06	79,80	22
Mn	15,30	3,735	8,71	25,31	49	17,78	1,62	14,54	23,35	16
B	3,43	0,846	1,70	5,42	49	2,35	0,33	1,61	3,40	27
Cu	5,15	0,220	4,61	5,66	9	1,74	0,23	1,04	2,36	26
Ni	2,32	0,542	1,20	3,83	47	1,82	0,40	0,96	2,81	44
Zn	2,16	0,499	1,21	3,63	46	1,60	0,67	0,68	3,48	83
Pb	0,99	0,347	0,43	1,81	70	0,57	0,07	0,42	0,81	24
Co	0,33	0,062	0,15	0,49	37	0,25	0,06	0,17	0,44	49
Cr	0,52	0,177	0,28	1,05	67	0,59	0,15	0,25	0,98	51
Mo	0,01	0,003	0,01	0,01	78	0,02	0,00	0,02	0,04	29
V	0,05	0,016	0,01	0,08	69	0,17	0,04	0,10	0,27	42
Be	0,07	0,012	0,01	0,25	34	0,04	0,00	0,02	0,04	10
Cd	0,03	0,001	0,01	0,03	35	–	–	–	–	–
Ag	0,01	0,001	0,01	0,02	39	0,00	0,00	0,00	0,01	37

*Примечание:* X – среднее значение; m<sub>x</sub> – стандартная ошибка; X<sub>min</sub> – минимальное значение; X<sub>max</sub> – максимальное значение; V – коэффициент вариации, %

Для сопоставления характера распределения хлорофиллов в хвое деревьев обоих видов и микроэлементного состава хвои в процессе вегетации проведен корреляционный анализ данных параметров (табл.5). Накопление хлорофиллов наиболее тесно связано с содержанием микроэлементов Cu, Mn, Co, Zn, Mo и B в хвое исследуемых деревьев, что подтверждается достаточно высокими значениями коэффициентов корреляции (R). Максимальные значения R (0,87–0,97) отмечены для Cu. По-видимому, это объясняется тем, что медь входит в состав пластоцианина – белка-переносчика электронов [3, 4].

Таблица 5

**Коэффициенты корреляции взаимосвязи между средним содержанием хлорофиллов (C<sub>хл</sub>)  
и микроэлементов в хвое деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies***

C <sub>хл</sub>	Микроэлемент										
	Zn	Co	Mn	Cu	V	Be	Pb	Ba	Cr	Mo	B
<i>Деревья Abies sibirica</i>											
Хл а	0,77	0,63	0,61	0,91	0,21	0,47	- 0,01	0,33	0,22	0,80	0,61
Хл б	0,62	0,62	0,88	0,89	0,26	0,45	- 0,05	0,27	0,20	0,68	0,65
<i>Деревья Picea abies</i>											
Хл а	0,83	0,66	0,86	0,97	0,34	0,34	0,21	0,19	0,27	0,86	0,59
Хл б	0,77	0,61	0,92	0,81	0,44	0,42	0,14	0,21	0,12	0,77	0,64

С целью исследования влияния микроэлементов на рост и развитие хвои первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* проведен корреляционный анализ между средним содержанием микроэлементов и ростовыми характеристиками хвои деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* (табл. 6).



Таблица 6

Коэффициенты корреляции (R) между средним содержанием микроэлементов и ростовыми характеристиками хвои деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*

Параметр	Микроэлемент										
	Zn	Co	Mn	Cu	V	Be	Pb	Ba	Cr	Mo	B
Деревья <i>Abies sibirica</i>											
Длина (L)	0,84	0,42	0,84	0,65	0,31	0,52	0,11	0,44	0,14	0,61	0,86
Масса (M)	0,52	0,91	0,98	0,94	0,22	0,44	0,15	0,56	0,18	0,84	0,89
Деревья <i>Picea abies</i>											
Длина (L)	0,92	0,56	0,96	0,77	0,33	0,41	0,27	0,31	0,32	0,67	0,79
Масса (M)	0,44	0,87	0,93	0,97	0,37	0,38	0,24	0,42	0,21	0,92	0,94

Выявлены наиболее тесные связи между содержанием таких микроэлементов, как Zn, B, Mn и увеличением длины хвои ( $R=0,79-0,92$ ), по-видимому, данные микроэлементы накапливаются в период интенсивного увеличения линейных размеров хвои *Abies sibirica* и *Picea abies*. Содержание в растущей хвое микроэлементов Cu, Mo, Mn, B и Co наиболее тесно коррелирует с увеличением биомассы хвои ( $R=0,86-0,98$ ), причем содержание микроэлементов B и Mn коррелирует как с увеличением хвои в длину, так и с накоплением массы ( $R=0,79-0,94$ ;  $R=0,84-0,96$  соответственно).

Характер изменения длины и массы хвои первого года вегетации исследуемых видов растений в зависимости от приведенного содержания микроэлементов, имеющих тесную корреляцию с ростовыми процессами, проведено математическое моделирование изменчивости содержания данных параметров. Представленную математическую модель рассмотрели на примере зависимости характера изменения содержания микроэлемента Mo от динамики накопления массы и увеличения длины хвои деревьев *Abies sibirica*.

Изменение содержания Mo ( $C_{Mo}$ ) от динамики изменения длины (L):

$$C_{Mo} = (0,294) * I_L^{8,071} * \exp(-(2,172) * I_L) + (0,991). \quad (7)$$

Изменение содержания Mo ( $C_{Mo}$ ) от динамики увеличения массы (m):

$$C_{Mo} = (0,180) * I_m^{2,852} * \exp(-(0,334) * I_m) + (0,718). \quad (8)$$

Графическое изображение приведенных математических моделей (7) и (8) представлено на рис. 6 и 7.

Адекватность использованных моделей (7) и (8) подтверждается достаточно низкими значениями максимальной относительной погрешности ( $|\Delta_{max}|, \%$ ).

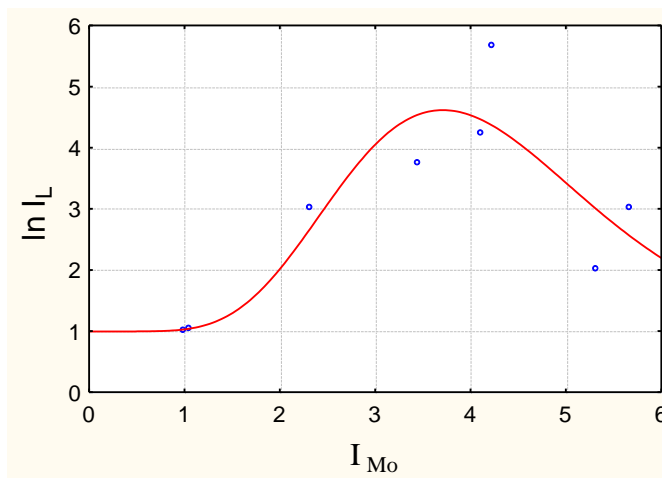


Рис. 6. Изменение содержания микроэлемента Mo в зависимости от изменения длины (L) хвои первого года вегетации деревьев *Abies sibirica*

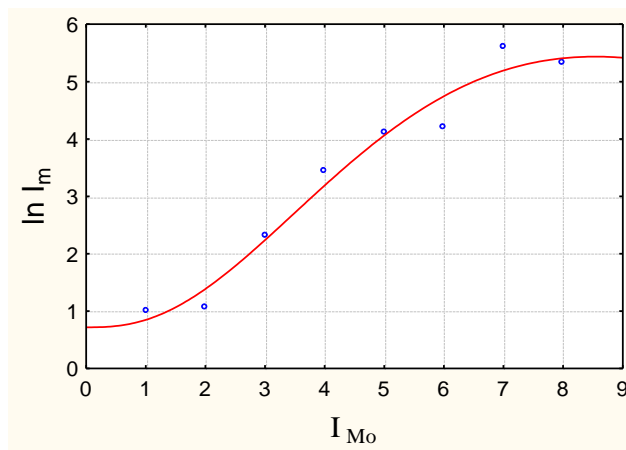


Рис. 7. Изменение содержания микроэлемента Мо в зависимости от увеличения массы ( $m$ ) хвои первого года вегетации деревьев *Abies sibirica*

**Выводы.** Для темнохвойных лесов фоновых территорий Республики Марий Эл проведено комплексное исследование ростовых характеристик, фотосинтезирующей активности и микроэлементного состава хвои первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies*.

Закономерности роста хвои обоих изученных видов деревьев одинаковы – сначала происходит рост хвоинок в длину, а затем увеличение их массы. Однако для деревьев *Picea abies* увеличение массы происходит быстрее, но в более короткий срок, для *Abies sibirica* более длительно, но с меньшей скоростью.

Проведена оценка содержания хлорофиллов и выявлено, что интенсивный их биосинтез в хвое *Abies sibirica* продолжается относительно короткое время – всего месяц. В то же время в хвое деревьев *Picea abies* активное увеличение содержания хлорофиллов идет достаточно долго (3 месяца).

Динамика биосинтеза хлорофиллов для двух видов хвойных деревьев тесно коррелирует с увеличением массы хвои и ее удельной скоростью роста.

Исследование содержания микроэлементного состава хвои первого года вегетации деревьев *Abies sibirica* и *Picea abies* выявили большую (на несколько порядков) изменчивость этого содержания, связанную, по-видимому, с их различной физиологической значимостью и свидетельствующую об эволюционной отработанности накопления микроэлементов фотосинтезирующими органами хвойных в зависимости от их физиологической роли.

Выявлены общие закономерности процесса накопления микроэлементов в зависимости от ростовых процессов и содержания зеленых пигментов хвои, что открывает новые возможности управления продуктивностью, поскольку микроэлементы могут выступать как специфические и неспецифические регуляторы обмена веществ в растении.

#### Список литературы

1. Бобкова, К. С. Состояние лесов в зоне влияния Сыктывкарского лесопромышленного комплекса / К. С. Бобкова, Ю. А. Паутов, Н. А. Терещук // Лесной журнал. – 1997. – № 5. – С. 84–88.
2. Молчанов, А. А. Методика изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – М.: Наука, 1967. – 99 с.
3. Ничипорович, А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений / А. А. Ничипорович // Физиология фотосинтеза. – М.: Наука, 1982. – С. 7–33.
4. Сафина, Н. И. Хлорофилльный фотосинтетический потенциал как показатель продуктивности

посевов и его дистанционное определение / Н. И. Сафина // Тр. Конференц. молодых ученых и специалистов Ин-та почвоведения и фотосинтеза АН СССР. – Пущино, 1985. – Ч. 1. – С. 35. (Деп. в ВИНТИ. 22.07.85, № 5301–85).

5. Андрианова, Ю. Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю. Е. Андрианова, И. А. Тарчевский. – М.: Наука, 2004. – 135 с.

6. Робакидзе, Е. А. Качественный и количественный состав углеводов в формирующейся хвое ели сибирской / Е. А. Робакидзе, А. И. Патов // Физиология растений. – 2000. – Т. 47, №2. – С. 248–254.

7. Винокурова, Р. И. Роль растений елово-пихтовых лесов в миграции химических элементов / Р. И. Винокурова, О. В. Андриянова, И. Ю. Волкова и др. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 196 с.

8. Канаш, Е. В. Изменение продуктивности и содержания пигментов у растений фасоли при ультрафиолетовом стрессе / Е. В. Канаш // Фотосинтез и продуктивность растений / ВАСХНИЛ. Всерос. отделение НИИСХ Юго-Востока. – Саратов, 1990. – С. 86–89.

9. Карасев, В. Н. Физиология растений: учеб. пособие / В. Н. Карасев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 304 с.

10. Атомно-адсорбционный метод определения токсичных элементов (Межгосударственный стандарт). – Минск: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.

11. Сборник методик по определению тяжелых металлов в почвах, тепличных грунтах и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1998. – 98 с.

12. Осторошенко, В. В. Бальзамопродуктивность пихты белокорой / В. В. Осторошенко // Информ. листок. – Хабаровск: ЦНТИ, 1996. – № 39–96. – 4 с.

13. Силкина, О. В. Характеристика фотосинтетической активности и микроэлементного состава формирующейся хвои Пихты сибирской (*Abies sibirica*) в процессе вегетации / О. В. Силкина, Е. А. Богатырева, Р. И. Винокурова // Материалы Всероссийской заочной науч.-практ. студ. конференции «Химия и лес». – Йошкар-Ола, 2005. – С. 59–63.

14. Силкина, О. В. Эколого-физиологическое состояние формирующейся хвои деревьев и растений подроста *Abies sibirica* и *Picea abies* / О. В. Силкина, Р. И. Винокурова, А. И. Винокуров, В. З. Латыпова // Вестник Северо-Кавказского гос. тех. университета. – Ставрополь, 2006. – № 2. – С. 46–51.

Статья поступила в редакцию 09.07.08

**R. I. Vinokurova, O. V. Silkina**

#### **GROWTH CHARACTERISTICS OF *ABIES SIBIRICA* L. AND *PICEA ABIES* L. NEEDLES**

*The contents of microelements and chlorophylls a and b is investigated and common character of their distribution and a ratio in growing Picea abies and Abies sibirica needles is revealed. Their interrelation with the parameters of growth of the first year of vegetation needles in seasonal dynamics is revealed. The mathematical equation describing the trends of change of microelements and chlorophylls contents depending on the dynamics of the processes of growth in the kinds of plants investigated is submitted. The index of calculation of specific growth rate of needles of Picea abies and Abies sibirica is offered.*

---

**ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна** – доктор биологических наук, профессор кафедры химии МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое природопользование, биогеохимия, экология и физиология лесных растений. Автор более 150 научных и учебно-методических работ.

**СИЛКИНА Ольга Владимировна** – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры химии МарГТУ. Область научных интересов – экология и физиология лесных растений. Автор 15 научных работ.