

# ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА РОСТ СТВОЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЛЕСОСТЕПНОМ ПРЕДБАЙКАЛЬЕ

© В.Ф. Забуга, Г.А. Забуга

УДК 630.561.21: 634.164.4:630.174.754

Ангарская государственная техническая академия МО РФ, г.Ангарск, Россия

В течение почти 30-летних наблюдений исследовали зависимость роста в высоту и по радиусу ствола сосны обыкновенной от своеобразных климатических условий лесостепной зоны Предбайкалья. Установлено, что продолжительность периода линейного роста ствола составляла в среднем 55, а радиального – около 80 суток. Ежегодные изменения прироста осевого побега и ствола по радиусу изменялись синхронно, о чем свидетельствовал коэффициент парной корреляции – 0.68. Вариабельность линейного прироста в высоту в значительной мере определялась условиями влагообеспеченности среды – влажностью воздуха и суммами осадков за его период роста без и с учетом сентября предыдущего года. Изменчивость прироста ствола по радиусу зависела в основном от вариабельности средней за период его роста температуры и влажности воздуха. Зависимость между приростом ствола в высоту и по радиусу и факторами внешней среды выразили прямолинейной функцией. Однако степень аппроксимации зависимостей линейной функцией была меньше полиномиальной. Множественная корреляционная связь свидетельствовала о значительном влиянии на рост осевого побега сосны количества осадков в сентябре предыдущего года. Без учета последнего влияние средней за период роста температуры и влажности воздуха, суммы осадков было примерно одинаковым как для верхушечного, так и радиального роста ствола сосны обыкновенной. Установлено для радиального роста сочетание большой амплитуды ежегодных колебаний ширины годичных колец (116%) и невысокой доли влияния на него исследуемых факторов внешней среды ( $r^2=19-24\%$ ). Для верхушечного роста, наоборот, было характерно сочетание малой амплитуды ежегодных колебаний длины осевого побега (72%) с высокой долей влияния на него внешних условий ( $r^2=28-44\%$ ).

During almost 30-years supervision investigated dependence of growth in height and on radius of a trunk of a pine ordinary from original climatic conditions of forest-steppe zone Predbaical. It is established, that duration of the period of linear growth of a trunk averaged 55, and radial - about 80 days. Annual changes of a gain of axial runaway and a trunk on radius changed synchronously to what the factor of pair correlation - 0.68 testified. Variability of a linear gain in height was appreciably defined by conditions влагообеспеченности environments - humidity of air and the sums of deposits for its period of growth without and in view of September of the previous year. Variability of a gain of a trunk on radius depends basically on variability of average for the period of its growth of temperature and humidity of air. Dependence between a gain of a trunk in height and on radius and factors of an environment has expressed rectilinear function. However the degree of approximation of dependences linear function was less, than polynomial. Plural correlation connection testified to significant influence on growth of axial runaway of a pine of quantity of deposits in September of the previous year. Without taking into account the last influence of average for the period of growth of temperature and humidity of air, the sum of deposits was approximately identical as for верхушечного, and radial growth of a trunk of a pine ordinary. It is established, for radial growth a combination of the big amplitude of annual fluctuations of width of year rings (116 %) and a low share of influence on it of researched factors of an environment ( $r^2=19-24\%$ ). For верхушечного growth the combination of small amplitude of annual fluctuations of length of axial runaway (72 %) to a high share of influence on it of external conditions ( $r^2=28-44\%$ ), on the contrary, was typical.

## Введение

Наиболее значительная часть биомассы биосферы связана с лесными экосистемами и, прежде всего, с теми ее территориями (частями), где складываются оптимальные для роста различных типов лесов условия. Вместе с тем, лесные экосистемы (насаждения) создают биомассу, реализуя свою продуктивность на пределе условий существования древесной жизненной формы. Как известно, внешним «ограничителем» распространения лесных экосистем выступает температура при движении на север и условия увлажнения при движении на юг и приближении к степному биому. Сосновые насаждения лесостепного

Предбайкалья, как и других лесостепных районов, формируются как часть единого экотона в условиях перехода от типичного биома бореальных лесов к степному биому.

Эколого-биологические аспекты существования древесной жизненной формы на границах основных ее биомов, образующих экотоны, раскрывают внутренние (генетически обусловленные) возможности создавать биомассу, за счет основных элементов продукционного процесса – фотосинтеза, дыхания и роста. Взаимодействие основных элементов продукционного процесса приводит к формированию той или иной величины общей и хозяйственной продуктивности,

максимально возможные значения которых представляют безусловный интерес.

Исторически сложилось так, что степные биомы и примыкающая к ним лесостепь являются местами наиболее активной хозяйственной деятельности человека. Древесные насаждения лесостепи испытывают различные виды антропогенных воздействий, в том числе и воздействия, связанные с бесконтрольной вырубкой. На освободившихся площадях в большинстве случаев отсутствуют необходимые для коренных видов особые условия среды, что приводит к ухудшению вновь формирующихся лесов и значительному снижению их продуктивности. Все это требует организации системы полноценного восстановления этих лесов. Она должна базироваться на разработке практических лесохозяйственных мероприятий с учетом знаний эколого-физиологических закономерностей формирования продуктивности, в частности, ее основной компоненты – древесины. Эти знания позволяют не только прогнозировать конечную величину прироста древесины, но и управлять ее формированием

В интегрированном виде общая и хозяйственная продуктивность древесных растений оценивается по приросту осевого побега в высоту (линейный прирост) и приросту ствола на высоте 1.3 м по радиусу (радиальный прирост). Как известно, протекание процессов линейного и радиального роста дерева скоординировано. Координация ростовых процессов проявляется в эволюционно выработанном порядке следования соответствующих фенологических фаз развития, начале и окончании прироста органов. Каждая из фенофаз, или период роста, характеризуется определенными условиями внешней среды, которые влияют на конечные размеры скелетных и ассимилирующих органов. Влияние факторов внешней среды на линейный и радиальный рост оценивают с помощью коэффициентов корреляции, используя для этого среднемесячные величины или суммы величин факторов за месяц [18, 20, 22]. Очевидно, что при таком подходе не учитывается, как зависит линейный и радиальный рост от факторов внешней среды, которые имеют место именно в периоды роста исследуемых органов [21]. По этой же причине трудно окончательно судить о том, линейный или радиальный рост является наиболее

чувствительным к факторам внешней среды места обитания древесного растения [19].

Цель работы состояла в исследовании зависимости линейного и радиального прироста ствола сосны обыкновенной от факторов внешней среды, характерных для лесостепной зоны Предбайкалья, действующих непосредственно в период роста осевого побега в высоту и ствола по радиусу.

#### **Экспериментальная часть.**

Экспериментальный материал был получен на опытном участке, расположенном в 80 км северо-восточнее г. Иркутска. Опытный участок находится на территории Усть-Ордынского Бурятского автономного округа и в физико-географическом отношении является частью Предбайкальской впадины. По геоботаническому районированию территория опытного участка относится к Ольхонско-Приангарскому сосново-лесостепному округу со значительной облесенностью (до 50%) и недостаточным увлажнением [4].

Отличительная особенность климата района – незначительное количество осадков (средняя многолетняя - 271 мм в год) и низкая относительная влажность воздуха (до 6-8% с апреля по июнь). Климат резко континентальный и характеризуется большими суточными и сезонными колебаниями метеорологических показателей. Коэффициент увлажнения, рассчитанный по формуле Н.Н. Иванова [3] применительно к Иркутской области, равен 0.6-0.8, что свидетельствует о недостаточном увлажнении района наблюдений. Факторы внешней среды (относительную влажность и температуру воздуха, осадки, температуру и влажность почвы) измеряли непрерывно с мая по октябрь в 1976-1986 гг. по общепринятым методикам непосредственно на опытном участке. Поскольку в 1987-2003 гг. наблюдения за приростом побегов и ствола по радиусу проводились в течение вегетации эпизодически и чаще всего в конце ее, то использовали данные метеостанции пос. Усть-Орда, расположенного менее чем в 20 км от опытного участка. Фенологические фазы развития сосны определяли по методике И.Н. Елагина [7].

Исследования проводили в течение 1976-2003 гг. на опытном участке, таксационная характеристика которого была проведена в 1976 и 2003 гг. и представлена в табл. 1.

Таблица 1 - Таксационная характеристика соснового насаждения

Год таксации	Тип соснового насаждения	Состав	Средние показатели			Класс бонитета
			возраст, класс	диаметр, см	высота, м	
1976	мертвопокровный	9С1Л	II	18	12.1	I
2003	мертвопокровный	0СЛ	III	24	21.8	I

Как известно [5], исследователи используют разные критерии, по которым судят о начале и окончании радиального роста и определяют его продолжительность, получая существенные расхождения в оценках его длительности. Начало радиального роста связывают с увеличением камбиальных клеток в объеме и появлением первых митозов в камбиальной зоне; с делением инициали в сторону флоэмы и появлением первых трахеид в камбиальной зоне [2]. Окончание – с прекращением митотической активности и увеличения числа клеток [13], завершением формирования клеточной стенки последней клетки поздних трахеид [1, 2]. Несмотря на различие подходов, «клеточный» критерий позволяет зафиксировать отрезок времени от появления первых клеток древесины до прекращения увеличения их числа и в целом отражает наиболее важную составляющую периода радиального роста и формирования древесины. Поэтому нами использовался «клеточный» критерий определения начала и окончания роста ствола по радиусу.

Радиальный рост ствола исследовали методом микроскопического анализа образцов древесины [14]. В качестве основных количественных характеристик структуры годичных колец использовали ширину кольца прироста и слоев ранних и поздних трахеид, измеряемую в миллиметрах. Образцы древесины ствола вырезали из периферической его части с южной стороны на высоте 1.3 м. Из образцов древесины на микротоме с приспособленным к нему термоохлаждающим столиком (ТОС-П) делали поперечные срезы, на которых с помощью микроскопа МБИ-3 или бинокулярной лупы измеряли ширину годичного прироста, выражая ее в мм. Образцы (высечки) древесины брали ежедекадно в течение периода радиального роста ствола с 1976 по 1986 гг., а в 1987-2003 гг. ежегодно в конце вегетации. Объемы прироста ствола рассчитывали по известным таксационным методам [11].

За начало фенофазы роста побегов сосны в высоту принимали тот момент в

увеличении почек, когда длина почек в три раза превышала их максимальный диаметр [7]. Как известно [12], начало роста побегов не зависит от их расположения в кроне сосны. Когда длина побега достигала примерно одной трети своей конечной величины, в нижней его части хвоя освобождалась от чехликов. Это свидетельствовало о начале фенофазы роста молодой хвои. Именно в это же время начиналось образование первых рядов трахеид на высоте ствола 1.3 м. Окончание линейного и радиального роста ствола сосны в годы с относительно благоприятными климатическими условиями обуславливалось действием внутренних регуляторных механизмов [6, 15, 16]. Как показали наши наблюдения в периоды вегетации 1976-1986 гг. [8], окончание фенологических фаз роста исследуемых органов сосны отмечалось примерно на одну декаду раньше, если запасы доступной влаги в наиболее корнеобитаемом слое почвы (0-50 см) составляли менее 10-12 мм.

Прирост побегов измеряли металлической линейкой ежесуточно на протяжении всего периода их роста в 1976-86 гг. В 1987-2003 гг. наблюдения за приростом побегов проводили эпизодически, а конечные результаты их прироста определяли в конце вегетации. Точность измерения прироста побегов - 1 мм. В 1976-86 гг. даты начала и окончания фенофазы роста побегов определены с точностью до 2.0 суток, а ствола по радиусу – до декады. В последующие годы (1987-2003 гг.) для определения начала фенофазы роста побегов и ствола по радиусу использовали его зависимость от суммы положительных температур воздуха за предшествующий началу роста этих органов период (градус-час) [8, 9]. В этом случае начало и окончание фенофазы роста побегов и периода роста ствола по радиусу определялось с точностью до декады.

В опытах использовали 15-18 модельных деревьев сосны. Исходные результаты измерений прироста ствола по радиусу, а также осевых побегов в длину усредняли.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ Statistica v5.5. Все выборки проверены на соответствие закону нормального распределения. Коэффициент вариации эмпирических значений изменялся у результативных признаков от 9.5 до 27.6%, у факторных - от 5.6 до 29.4%. Критическое значение коэффициентов парной корреляции при  $p = 0.05$  составляло 0.38.

Поскольку линейный и радиальный рост ствола связан с деятельностью разных меристем (апикальной и латеральной), то в дальнейшем при изложении и обсуждении экспериментальных данных рассматривали результаты их роста как рост отдельных органов. Поэтому наряду с терминами «линейный и радиальный рост ствола» использовали термины «рост осевого побега в высоту», или «верхушечный рост» и «рост ствола по радиусу», хотя очевидно, что имеется в виду рост разных частей одного и того же органа – ствола сосны.

Результаты многолетних наблюдений показали, что фенофаза роста верхушечных побегов и ствола сосны по радиусу в условиях лесостепи Предбайкалья начиналась, как правило, в первой-второй декадах мая и в третьей декаде мая - первой декаде июня соответственно, что было связано, с условиями теплообеспеченности среды. Линейный рост побегов заканчивался в первой декаде июля и обуславливался внутренними регуляторными механизмами. Только в отдельные годы (1979, 1997 и 1999,

2003 гг.) фенофаза роста побегов завершалась в середине третьей декады июня из-за острого дефицита доступной почвенной влаги в слое почвы 0-50 см. Радиальный рост ствола заканчивался в первой или второй декадах августа. Продолжительность периода линейного роста побегов сосны составляла 55, а радиального роста ствола около 80 дней. Примерно та же продолжительность периода линейного роста побегов отмечалась и для сосняков Среднего Приангарья [17].

На рисунке 1 показаны ежегодные изменения линейного прироста побегов и радиального прироста ствола на высоте 1.3 м. В изменении ежегодной ширины годичного кольца ствола отмечались более значительные «провалы» по сравнению с длиной осевого побега. В целом они следовали почти синхронно друг другу и были обусловлены острым дефицитом доступной почвенной влаги в корнеобитаемом слое, который оказывал отрицательное влияние на ростовые процессы исследуемых органов сосны. По данным, представленным на рисунке 1, максимум амплитуды колебания прироста побега и ствола за период наблюдений составлял 263 и 1.56 мм, что относительно многолетних средних величин соответствовало 72 и 116 %. Коэффициент парной корреляции между изменчивостью ежегодных размеров верхушечного побега и шириной кольца прироста ствола на высоте груди составлял 0.68.

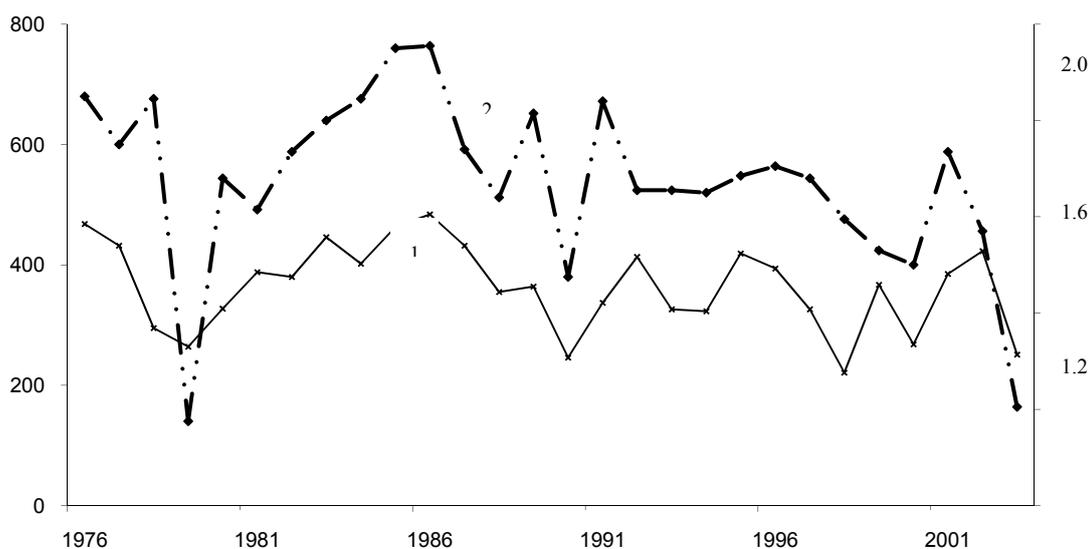


Рисунок 1 - Сезонные изменения линейного (1) и радиального (2) прироста ствола сосны обыкновенной: По оси абсцисс – годы; по оси ординат – прирост осевого побега (слева) и ствола на высоте 1.3 м (справа), выраженный в мм.

Ежегодные приросты осевого побега и ствола по радиусу (результативные признаки) и средние за период роста каждого из этих органов температуру и относительную влажность воздуха, сумму осадков без и с учетом сентября предыдущего года (факторные признаки) сначала представили в виде двумерных диаграмм рассеяния. Диаграммы рассеяния показали общий характер изменения ежегодных размеров исследуемых органов сосны в зависимости от факторов внешней среды (температуры и влажности воздуха, суммы осадков). На каждой из диаграмм провели оси, соответствующие средним значениям факторного и результативного признака, и вся плоскость оказалась разделенной на части. При этом точки распределялись во всех четвертях графика в

виде неплотного "облака". Затем их подсчитали и представили в таблице 2 те четверти диаграмм, которые имели наибольшее количество точек. Как видим, высокая плотность точек отмечалась в первой и третьей четверти диаграмм рассеяния результативных признаков в зависимости от средней температуры воздуха за период роста исследуемого органа. По другим факторным признакам (влажность воздуха, суммы осадков) наибольшее количество точек было сосредоточено либо в первой-третьей, либо во второй- четвертой четвертях диаграмм рассеяния. Подобная картина свидетельствовала о том, что большая часть точек корреляционного поля была вытянута полосой либо вверх слева направо (четные четверти), либо вниз справа налево (нечетные четверти).

Таблица .2 - Количество точек в отдельных четвертях на диаграммах рассеяния результативного признака в зависимости от изменения факторного признака

Органы сосны	Результативный признак (средняя многолетняя), мм	Число точек в четвертях							
		температура, °С		влажность воздуха, %		сумма осадков, мм		сумма осадков (+9), мм	
		I	III	II	IV	II	IV	II	IV
Побег	364±14	11	6	9	8	9	4	9	9
Ствол	1.34±0.07	12	6	6	7	6	5	12	4

Примечание: (+9) – приведена сумма осадков с учетом их количества в сентябре предыдущего года. Первая четверть включала в себя верхний левый, а третья – нижний правый квадрант.

Расчет коэффициентов парной корреляции показал, что между ежегодными изменениями длины побега и ширины годичных колец ствола и отдельными факторными признаками отмечалась статистическая связь средней степени сопряженности (таблица 3). Так, например, связь между длиной побега и факторными признаками, отражающими влагообеспеченность фенофазы роста побега (относительная влажность воздуха и сумма осадков), характеризовалась коэффициентами корреляции в диапазоне 0.5-0.7. В отличие от побега ширина годичного кольца ствола имела значимую обратную и прямую связь с температурой и влажностью воздуха, осадками, но не более 0.5.

Оценка существенности коэффициентов парной корреляции ( $t_{расч}$ ) показала, что только на 0.5% найденные значения критерия существенности коэффициента корреляции между длиной побега и влажностью воздуха,

суммами осадков (комбинации с сентябрем и без сентября прошлого года) были обусловлены случайностями выборки и отличие "r" от нуля являлось существенным. Для радиального прироста ствола уровень значимости, составляющий 1.0%, был характерен для коэффициентов парной корреляции между шириной годичного кольца (ШГК) и температурой воздуха, а уровень в 5.0% отмечался между ШГК и относительной влажностью воздуха, суммой осадков за период роста ствола с учетом сентября прошедшего года.

Доля вариации ежегодного прироста побега сосны, связанная с изменением каждого из факторных признаков, судя по коэффициенту детерминации, доходила от 28 до 44% (таблица 3). Варибельность таких факторных признаков, как средняя за период роста ствола температура и влажность воздуха, играла заметную роль в погодичных

изменениях ширины его годовых колец, так как "r<sup>2</sup>" изменялся в пределах 19-24%.

Следует отметить, что коэффициент детерминации между вариабельностью погодичных размеров ШГК ствола сосны и

средними за месяцы вегетации факторными признаками не превышал 15%, за исключением среднемесячной температуры мая [10].

Таблица 3 - Статистические характеристики связи результативных и факторных признаков

Показат ели (n=28)	Побег				Ствол			
	Температу ра, °С	Влажность воздуха, %	Осадки, мм	Осадки (+9), мм	Температу ра, °С	Влажность воздуха, %	Осадки, мм	Осадки (+9), мм
r	-0.29±0.19	0.53±0.17	0.55±0.16	0.66±0.15	-0.49±0.17	0.44±0.18	0.08±0.19	0.40±0.18
r <sup>2</sup>	0.08	0.28	0.30	0.44	0.24	0.19	0.006	0.16
t <sub>расч.</sub>	1.54	3.19	3.35	4.48	2.81	2.5	0.41	2.23
η	0.44±0.18	0.54±0.16	0.66±0.15	0.70±0.14	0.71±0.14	0.58±0.16	0.68±0.14	0.74±0.13
w <sup>2</sup>	1.04	0.12	1.81	0.82	4.07	3.81	6.50	6.56

Примечание: r – коэффициент корреляции; r<sup>2</sup> – коэффициент детерминации; t<sub>расч.</sub> – критерий существенности коэффициента корреляции; η – корреляционное отношение; w<sup>2</sup> – критерий, используемый для проверки гипотезы о линейной зависимости; ± - средняя квадратическая ошибка коэффициента корреляции и корреляционного отношения (δ<sub>r</sub> и δ<sub>η</sub>).

Исследование множественной корреляции показало, что имело место довольно значительное совместное влияние вариабельности средних за период роста исследуемых органов температуры и влажности воздуха, суммы осадков на изменчивость ежегодной длины побега и ширины годовых колец ствола сосны. Так, коэффициент множественной детерминации у побега составлял 0.37, а у ствола - 0.35. Как видим, коэффициенты оказались близки по своей величине и свидетельствовали, что данные факторы более чем на треть определяли изменчивость роста ствола сосны в высоту и по радиусу. Еще выше были значения коэффициента множественной детерминации, отражающие влияние вариабельности суммы осадков непосредственно за период его роста и за сентябрь предыдущего года. В этом случае доля совместного влияния изменчивости температуры и влажности воздуха в сочетании с суммой осадков с учетом сентября прошлого года увеличивалась почти до половины (46%) для побега и 38% для ширины годового кольца ствола сосны. Как оказалось, для побега увлажнение сентября предыдущего года имело большее, чем для ствола значение. По-видимому, рост побега в высоту по сравнению с радиальным ростом ствола был более чувствительным к условиям увлажнения не только в период его верхушечного роста, но и особенно к осадкам сентября прошлого года.

Нами установлено, что у побега не было значимых коэффициентов множественной корреляции и, следовательно, существенного

влияния вариабельности июньских и июльских среднемесячных температуры и влажности воздуха, температуры почвы и суммы осадков за каждый их этих месяцев на результаты его прироста. Напротив, средние за период роста температура и влажность воздуха, осадки оказывали сильное влияние, и длина побега почти наполовину зависела от них. Аналогичная картина отмечалась и в отношении ствола сосны. Таким образом, изменчивость факторных признаков именно за фенофазу роста осевого побега и за период радиального роста ствола сильнее влияла на вариабельность результативных признаков по сравнению с изменчивостью их среднемесячных значений.

Для оценки роли каждого из факторных признаков в изменении уровня результативного показателя использовали стандартизованный коэффициент множественной регрессии (β<sub>i</sub>). Как оказалось, факторными признаками, в развитии которых заложены наибольшие резервы изменения результативного показателя при уровне значимости 0.05 и менее, были факторы, характеризующие влагообеспеченность среды. Это, в первую очередь, сумма осадков за фенофазу роста побега с учетом осадков сентября прошлого года (β<sub>j</sub>=0.79). Далее, суммы осадков за период радиального роста ствола как с учетом, так и без учета осадков сентября прошлого года (β<sub>j</sub>=+0.74 и -0.67). Судя по величине стандартизованного коэффициента множественной регрессии, линейный и радиальный рост ствола сосны сильно зависели от осадков, выпадающих в

период протекания в нем ростовых процессов.

При проверке возможности использования линейной функции в качестве уравнения регрессии между вариабельностью исследуемых результирующих и факторных признаков определяли корреляционное отношение. Как видим из таблицы 3, значения " $\eta$ " были больше по абсолютной величине соответствующих коэффициентов корреляции. При этом у ствола по сравнению с побегом корреляционные отношения и коэффициенты корреляции различались в большей мере, особенно по такому факторному признаку, как сумма осадков за месяц. Это свидетельствовало о том, что статистическая связь между такими переменными могла значительно отклоняться от прямолинейной зависимости, что в дальнейшем подтвердилось данными рисунка 2В.

Проверка гипотезы о линейной зависимости между результированными и факторными признаками по параметру  $w^2$  показала, что наибольшая часть его значений была меньше табличного критерия  $F$  при 5%-ом уровне значимости ( $F=8.65$ ). Поэтому зависимость между показателями роста исследуемых органов сосны и факторами внешней среды, действующими в период протекания ростовых процессов, вполне могла быть представлена в линейной форме.

На рисунке 2 даны линейные аппроксимации зависимостей ежегодного прироста побега и ствола сосны от средних за период роста этих органов температуры и влажности воздуха, а также сумм осадков без и с учетом сентября прошлого года. Как видим, качество полученных аппроксимаций для разных зависимостей различно. Между вариабельностью ширины годичного кольца ствола и суммами осадков за период его радиального роста была получена наименьшая аппроксимация, что свидетельствовало о нелинейном характере связи между рассматриваемыми признаками. Однако не исключено, что при линеаризации последней с помощью соответствующих методов статистическая связь между радиальным приростом ствола и осадками будет приближаться к линейной функции.

Расчет средней квадратической ошибки уравнений регрессии ( $S_e$ ) и ее сравнение со средним значением результированного признака ( $y$ ) показало, что по степени

рассеяния эмпирических точек вокруг линии регрессии органы распределялись следующим образом: 22% (ствол) и 18% (побег). При этом все " $S_e$ " исследуемых результирующих показателей оказались меньше соответствующих значений средних квадратических отклонений по их выборкам ( $\sigma_y$ ), что свидетельствовало о правомерности использования уравнений линейной регрессии.

Следующим этапом анализа исследуемых факторных и результирующих признаков было определение типа регрессии, с помощью которой можно было охарактеризовать зависимость между результированными и факторными признаками. Как следует из рисунка 2, большая часть анализируемых зависимостей между вариабельностью результированных и факторных больше всего приближалась к прямой, поэтому теоретическая линия регрессии была представлена уравнениями прямолинейной функции (таблица 4). Как показало сопоставление степени аппроксимации, получаемой при использовании различных математических зависимостей, ее значения, равные единице, получались в случае полиномиальной функции с высокими показателями степеней. Однако опыт по установлению зависимостей показывает, что полиномы степени  $n > 2$  обычно не соответствуют действительным закономерностям и не отражают характер изменения результированного признака на единицу фактора.

Факторы внешней среды, влияющие на линейный и радиальный прирост, в конечном итоге обуславливали объемы ежегодно прираставшей древесины ствола сосны ( $\Delta V$ ), которые представили на рисунке 3. Как видим, характер хода этих изменений во многом был сходен с ежегодными колебаниями длины осевого побега и ширины годичного кольца прироста ствола сосны, рассмотренными в начале статьи (рисунок 1).

Если показатели прироста в высоту и по радиусу характеризовали процессы формирования биомассы дерева, разобщенные во времени, то прирост древесины ствола по объему, интегрировал «ростовые» усилия дерева и отражал конечный результат «физиологической работы» практически за весь вегетационный период.

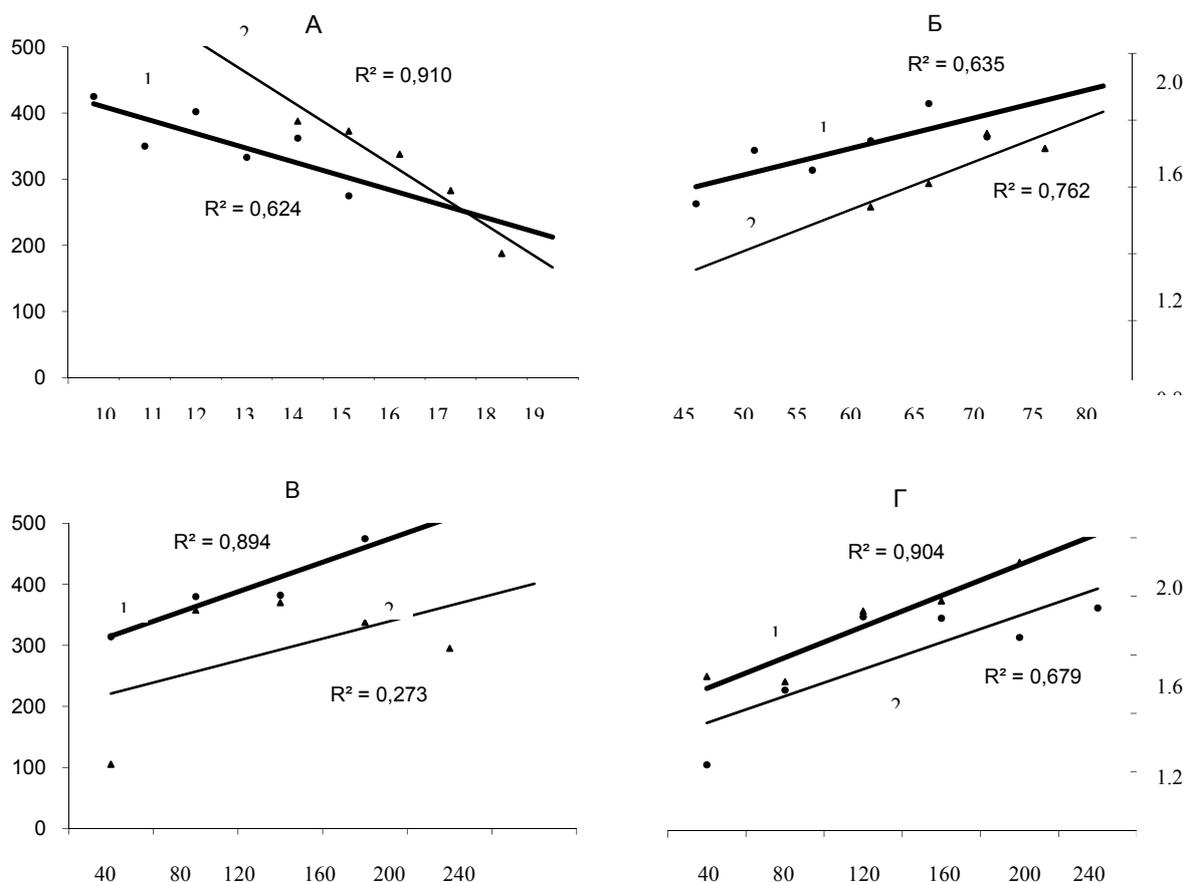


Рисунок 2 - Зависимость роста побегов в высоту (1) и ствола сосны по радиусу (2) от температуры (А) и влажности воздуха (Б), суммы осадков с учетом (В) и без учета сентября прошлого года (Г), аппроксимированная линейной функцией. По оси абсцисс – температура, °С (А); влажность воздуха, % (Б); осадки, мм (В, Г); По оси ординат – прирост в мм осевого побега (слева) и ствола на высоте 1.3 м (справа).  $R^2$  – коэффициент аппроксимации

Таблица 4 - Уравнения регрессии описывающие зависимость линейного и радиального роста сосны от факторов внешней среды

Факторные признаки	Результативные признаки	
	длина побега, мм	ширина годичного кольца, мм
Температура воздуха, °С	$y = -22.371x + 436.13$	$y = -0.196x + 2.626$
Влажность воздуха, %	$y = 21.543x + 278.6$	$y = 0.135x + 0.57$
Сумма осадков, мм	$y = 48.5x + 266.5$	$y = 0.144x + 0.74$
Сумма осадков (+9), мм	$y = 52.8x + 190$	$y = 0.1834x + 0.5513$

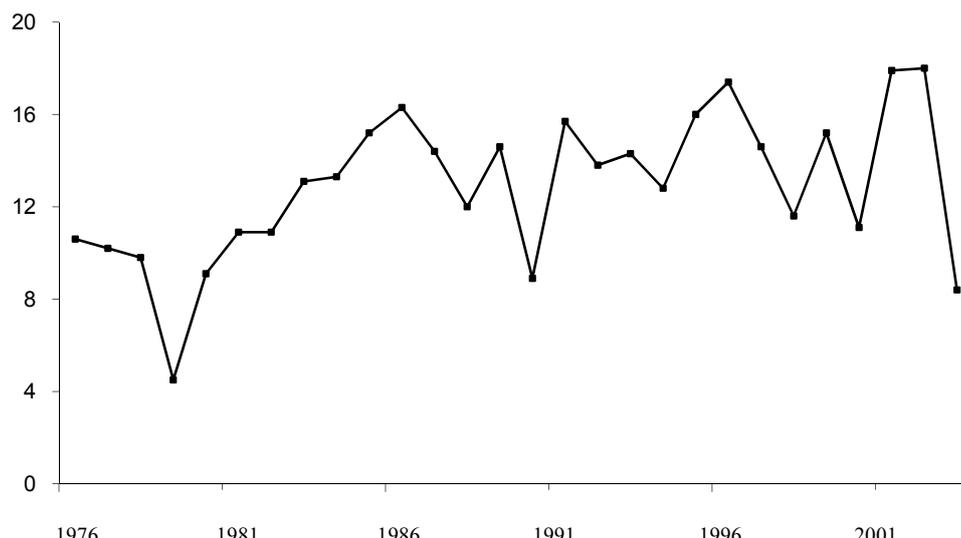


Рисунок 3 - Ежегодные изменения прироста ствольной древесины сосны по объему. По оси абсцисс – годы; по оси ординат - прирост ствола по объему, дм<sup>3</sup>.

Анализ многолетней динамики объема ежегодно прираставшей древесины показал, что отношение максимальной его амплитуды к средней за период наблюдений величине " $\Delta V$ " составляло 105% и поэтому в большей мере согласовывалось с динамикой изменений ширины годичного кольца на высоте ствола 1.3 м, чем с изменениями ежегодной длины осевого побега.

Таким образом, по сравнению с радиальным ростом ствола прирост сосны в высоту характеризовался меньшим размахом колебаний ежегодной длины осевого побега. При этом доля влияния внешних факторов и в парном, и во множественном аспекте была заметнее в отношении прироста ствола в высоту, чем по радиусу. Радиальный прирост ствола в ежегодной динамике, напротив, имел существенный по сравнению с побегом размах колебаний ежегодной ширины годичного кольца и менее значительную долю влияния факторов внешней среды на него. Подобное соотношение размаха колебаний линейного и радиального прироста и доли влияния на них внешних факторов, по-видимому, отражало стратегию ростовых процессов и специфику реакций апикальной и латеральной меристемы у сосны. Мы полагаем, что относительно высокая доля прямолинейного отклика на факторы внешней среды при небольшом размахе колебаний ежегодных размеров побега обуславливалась обеспеченностью верхушечного роста продуктами фотосинтеза, прежде всего, запасными

фондами ассимилятов, создаваемыми осенью прошлого года и используемыми для роста побега в текущем году.

По результатам работы могут быть сделаны следующие выводы.

1. Степень тесноты парных статистических связей между результативными и факторными признаками, представленными средними величинами за фенофазу или период роста органа, была выше, среднемесячных величин этих факторов.

2. Изменчивость прироста побега сосны в значительной мере определялась вариабельностью показателей влагообеспеченности среды (влажность воздуха, суммы осадков за период роста без и с учетом сентября прошлого года). Изменчивость ширины годичного кольца ствола зависела главным образом от вариабельности средней за период его роста температуры и влажности воздуха. Факторы влагообеспеченности среды в фенофазу роста осевого побега имели большее, чем температура значение для его роста.

3. Для описания зависимости между результативными и факторными признаками наиболее приемлемой оказалась прямолинейная функция. Исключение составила зависимость между изменчивостью ширины годичного кольца древесины ствола и суммой осадков за период его радиального роста, которая имела низкий коэффициент аппроксимации прямолинейным трендом. Однако, возможно,

что прямолинейная связь между вариабельностью этих показателей по каким-то причинам просто не проявлялась.

4. Множественная корреляционная связь показала, что для линейного роста большое значение имело количество осадков, выпадавшее в сентябре прошлого года. Без учета количества осадков в сентябре прошлого года влияние средней температуры, относительной влажности воздуха и суммы осадков за период роста было примерно одинаковым как для верхушечного, так и для радиального роста сосны.

5. Стандартизованный коэффициент множественной регрессии подтвердил установленный с помощью других статистических показателей вывод о существенной зависимости роста ствола сосны в высоту и по радиусу от количества выпадающих осадков в период его роста.

#### **Библиографический список**

1. Влияние условий произрастания на структуру годичного слоя древесины и продуктивность сосны обыкновенной / Г.Ф. Антонова [и др.] // Лесоведение.-1999.- № 6.- С. 45-53.

2. Динамика камбиальной активности и дифференциации трахеид в стволе сосны обыкновенной / Г.Ф. Антонова [и др.] // Химия древесины.-1983.-№ 1.- С.16-22.

3. Атлас Иркутской области.- М. – Иркутск, 1963.-182 с.

4. Бояркин, В.М. География Иркутской области. Очерки по физической географии Иркутской области.- М.: Изд-во МВ и ССО РСФСР-ИГУ им. А.А.Жданова, 1972.-294 с.

5. Ваганов, Е.А., Шашкин, А.В. Рост и структура годичных колец хвойных.- Новосибирск: Наука, 2000.-233 с.

6. Вербила, В.В., Шлейнис, Р.И. Сезонный рост сосны и его изменения под влиянием минеральных удобрений// Лесоведение.-1981.- № 2.- С.12-18.

7. Елагин, И.Н. Сезонное развитие сосновых лесов.- Новосибирск: Наука, 1976.- 232 с.

8. Забуга, В.Ф., Забуга, Г.А. Взаимосвязь ростовой активности кроны с радиальным приростом ствола сосны обыкновенной// Лесоведение.- 1990.- № 4.- С.19-24.

9. Забуга, В.Ф., Забуга, Г.А. Сезонный рост сосны обыкновенной в лесостепи Предбайкалья // Экология.- 1992.- № 2.- С.11-18.

10. Забуга, В.Ф., Забуга, Г.А. Зависимость радиального прироста сосны

обыкновенной от факторов внешней среды в лесостепи Предбайкалья//Лесоведение.- 2003.- № 5.- с.30-37.

11. Захаров В.К. Лесная таксация.- М.: Высшая школа, 1961.- 360 с.

12. Кищенко, И.Т. Сезонный рост побегов и хвои сосны в разных частях кроны // Лесоведение.-1983.- № 3.-С. 27-32.

13. Лебеденко, Л.А. Деятельность камбия лиственницы в связи с фенотипом // Лесная генетика, селекция и семеноводство.- Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1970.- С.47-55.

14. Лобжанидзе, Э.Д. Камбий и формирование годичных колец древесины.- Тбилиси: Изд-во АН ГССР, 1961.-159 с.

15. Макаревский М.Ф. Закономерности роста растений // Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере.- Л., 1985.-С.12-29.

16. Меняйло, Л.Н. Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных.- Новосибирск: Наука, 1987.-184 с.

17. Прокушкин, С.Г. Минеральное питание сосны.- Новосибирск: Наука, 1982.- 190 с.

18. Feliksik E., Wilczynski S. The influence of thermal and pluvial conditions on the radial increment of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the area of Donly Śląsk // Folia forest. pol. A.- 2000.-№ 42, P.55-

19. Gavrikov V.L., Secretenko O.P. Shoot-based three-dimensional model of young Scots pine growth// Ecological Modelling.- 1996.- V.88.-№1-3.-P.183-193.

20. Oberhuber W., Kofler W. Topographic influences on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at small spatial scales // Plant Ecol.- 2000.-V.146.-№ 2.-P.231-240.

21. Pasanen K. Integrating variation in tree growth into forest planning //Silva. fenn.-1998.- V.32.-№ 1.-P.11-25.

22. Wilczyński S, Skrzyszewski J. The climatic in tree-rings of Scots pine (*P. sylvestris* L.) from foot-hills of the Sudetic Mountains (southern Poland) // Forstwiss. Cbl.- 2002.- V.121.-№ 1.-P.15-24.

