

Динамика раннего прироста деревьев дуба в нагорных дубравах.

Белов А.Н.

Изменчивость прироста деревьев – один из объективных показателей, отражающих воздействие природных и антропогенных факторов на состояние лесов. В качестве основной характеристики при изучении изменений прироста в лесоводстве традиционно используется доступный и хорошо изученный анатомический признак – ширина годичного кольца (слоя), измеряемая на поперечных срезах или кернях стволов деревьев. Как правило, при дендрометрических исследованиях анализируется изменчивость общей ширины годичного кольца без разделения на весеннюю (раннюю) и летнюю (позднюю) части. Между тем, физиологические механизмы их формирования специфичны [3], а разница в фенологических сроках формирования раннего и позднего приростов предполагает определенные особенности их динамики. Анализ этих особенностей позволяет более достоверно и разносторонне оценивать относительное влияние отдельных факторов внешней среды на ход роста деревьев.

Помимо научного интереса, количественные данные о динамике раннего прироста имеют определенное прикладное значение в качестве прогностического параметра при проведении мониторинга лесов. Как показал анализ, развитие вспышки массового размножения одного из наиболее опасных листогрызущих насекомых – непарного шелкопряда при прочих равных условиях происходит существенно более быстрыми темпами в ослабленных древостоях с меньшим ранним приростом.

Интенсивность нарастания годичного кольца зависит от многих постоянных и переменных факторов: биологических особенностей древесных пород, происхождения (семенное, порослевое, естественное, искусственное), возраста и физиологического состояния деревьев, условий произрастания (рельеф, водный режим, питательные вещества и др.), погодных условий, полноты и сомкнутости полога, деятельности вредных насекомых, грибных заболеваний и т.п. Степень изученности влияния отдельных факторов различна. К числу наименее изученных относятся полнота древостоя (сомкнутость полога леса) и климатические факторы [1].

Сложность определения количественных характеристик воздействия отдельных показателей на прирост обусловлена не только тем, что ширина годичного кольца меняется под влиянием большого числа одновременно действующих факторов. Не менее важно, что влияние того или иного изучаемого фактора проявляется с разной силой в зависимости от конкретных сочетаний других факторов. В этих условиях для получения достоверных выводов требуется большой объем экспериментальных данных, включающих дендрометрические измерения в разных древостоях за достаточно большой ряд лет, и, кроме того, использование специальных методов математического анализа.

Наше исследование проведено в порослевых нагорных дубравах Базарно-Карабулакского мехлесхоза Саратовской обл. Сильно пересеченная местность со склонами разной экспозиции и крутизны обуславливает разнообразие условий произрастания и соответственно лесоводственно-таксационных характеристик древостоев. В целом насаждения мехлесхозов являются низкобонитетными (площадь древостоев III-IV классов бонитета составляет 4/5 всей лесопокрытой площади) и имеют сравнительно невысокую среднюю степень сомкнутости крон (0,66). Возраст насаждений на участках исследования в год отбора проб на прирост колебался от 40 до 60 лет, средняя высота деревьев – от 9 до

17 м, диаметр ствола на высоте груди – от 10 до 19 см, степень сомкнутости крон - от 0,4 до 0,85. Древостои являются типичными очагами массовых размножений насекомых-фитофагов: средняя степень повреждения листьев за анализируемый 20-летний период составила 46,2 % (от 35,6 до 55,5 % на отдельных пробных площадях).

В ходе полевых работ на 12 постоянных пробных площадях проводили учеты численности листогрызущих насекомых в разные фазы их онтогенеза и определяли степень повреждения листьев [2]. Приростные цилиндры (керны) отбирали с помощью бурава Пресслера из стволов 30-35 деревьев 1-го и 2-го классов развития на каждой пробной площади с высоты 1,3 м. В лабораторных условиях по числу годичных слоев определяли возраст деревьев и с помощью бинокулярного микроскопа МБС-1 измеряли ежегодный прирост последних 20 лет (отдельно ранний и поздний) с точностью до 0,05 мм. При вариационно-статистической обработке результатов измерений использовали средние оценки прироста по радиусу ствола по всем опытным деревьям на каждой пробной площади. Для характеристики метеорологической ситуации использовали данные гидрометеостанции пос. Свободный Базарно-Карабулакского р-на Саратовской обл.

Средняя толщина весеннего слоя годичных колец за 20-летний период на разных пробных площадях колебалась от 0,307 до 0,437 мм, а коэффициент вариации от 15,0 до 26,4%. Как известно, одной из основных причин изменчивости раннего прироста по годам является повреждение листьев насекомыми-фитофагами в предшествующий вегетационный период [4]. По результатам статистического анализа эта зависимость на разных пробных площадях характеризуется коэффициентом корреляции от –0,344 до –0,646 (табл. 1) и аппроксимируется линейным уравнением регрессии общего вида

$$Z_{p(n)} = a + b Df_{(n-1)}, \quad (1)$$

где $Z_{p(n)}$ – ранний прирост года n , мм; $Df_{(n-1)}$ – степень повреждения листьев в год $(n - 1)$, %; a и b – эмпирические коэффициенты.

Сопоставление оценок $Z_{p(n)}$ при значениях $Df_{(n-1)}$, равных 0 и 100%, позволяет рассчитать потери раннего прироста при сильном (сплошном) повреждении листовой массы насекомыми. На разных пробных площадях они колеблются от 17,6 до 47,0%, а в среднем для всей совокупности исследованных древостоев составляют 34,1%.

Отклонения фактических величин прироста от линии регрессии, обусловленные случайными ошибками выборки и влиянием иных, нежели насекомые-фитофаги, факторов, не выходят за пределы доверительного интервала $\pm t_{05} s_{y/x}$, где t_{05} – критерий Стьюдента при вероятности $P=95\%$; $s_{y/x}$ – стандартная ошибка уравнения регрессии. Из приведенных данных можно рассчитать, что при $Df_{(n-1)} = 100\%$ нижняя граница доверительного интервала при $P=95\%$ для разных древостоев колеблется от 0,103 до 0,237 мм. Это означает, что в течение исследуемого 20-летнего периода при самых неблагоприятных сочетаниях условий вегетации деревья были способны сформировать определенный минимальный слой весенней древесины за счет запасов органических веществ, накопленных в предыдущие годы.

Значения коэффициента a в уравнении (1) соответствуют величине раннего прироста без повреждений листовой массы насекомыми-фитофагами, но с учетом воздействия комплекса иных факторов. Изменчивость параметра a в основном связана с условиями произрастания. На сильно эродированных участках древостоев в средней части нагорий его величина составляет $0,370 \pm 0,011$, на мало эродированных участках нижней части склонов –

0,466±0,010, на более плодородных участках у подножия склонов и на плато – 0,509±0,005 мм. Отмеченные различия статистически достоверны ($F_{\phi} = 35,7 \gg F_{01} = 8,02$). Кроме того, отмечена тенденция к увеличению раннего прироста с возрастанием степени сомкнутости крон ($r = 0,326 \pm 0,299$); увеличению степени сомкнутости крон на 10% соответствует увеличение текущего прироста на 0,015 мм. Последняя особенность иллюстрирует менее благоприятную экологическую обстановку в разреженных насаждениях.

Размах колебаний раннего прироста под влиянием комплекса переменных внешних факторов может быть определен с помощью параметров $Z_{max} = a + t_{05}S_{y/x}$ и $Z_{min} = a - t_{05}S_{y/x}$, которые дают ожидаемые оценки толщины весенней части годичного кольца (с вероятностью 95%) соответственно при наиболее и наименее благоприятных сочетаниях этих факторов. Значения Z_{max} характеризуют максимально возможный ранний прирост деревьев дуба в районе исследований; для разных древостоев они колеблется от 0,426 до 0,655 мм. Значения минимального прироста Z_{min} варьируют от 0,258 до 0,390 мм. Соответственно потери прироста от переменных факторов могут достигать 39,5÷40,5%, т.е. сопоставимы с потерями от повреждений листвы насекомыми-фитофагами.

Для анализа роли отдельных метеорологических факторов использовали результаты измерений прироста, преобразованные по формуле $\Delta Z_p = Z_{\phi} - Z_p$, где Z_{ϕ} – фактический размер текущего раннего прироста на данной пробной площади в данный год, Z_p – его ожидаемый размер по уравнению (1). Этот прием позволяет в значительной мере устранить помехи, обусловленные варьированием прироста в связи с деятельностью насекомых-фитофагов. Так, при прямом сопоставлении раннего прироста на пробной площади 56Б с количеством осадков в январе был получен коэффициент корреляции $0,159 \pm 0,239$, свидетельствующий об отсутствии связи. При использовании параметра ΔZ_p выявлена достоверная положительная связь ($r = 0,469 \pm 0,214$ при $P > 95\%$).

В табл. 2 и 3 приведены показатели связи преобразованных оценок раннего прироста с температурой воздуха и количеством осадков в отдельные месяцы. Объем выборки позволял оценивать связь как статистически достоверную с вероятностью $P > 80\%$ при $r > 0,299$, $P > 90\%$ при $r > 0,380$, $P > 95\%$ при $r > 0,444$, $P > 99\%$ при $r > 0,562$ и т.д. Несмотря на то, что использованные метеорологические данные из-за удаленности метеостанции не вполне адекватно оценивают погодные условия на пробных площадях, из 360 оценок показателя связи 101 коэффициент корреляции превысил первый из указанных уровней вероятности (53 при использовании среднемесячной температуры воздуха и 48 при использовании месячной суммы осадков в качестве независимого параметра).

Результаты математического анализа определенно свидетельствуют о неодинаковом значении отдельных периодов времени и метеорологических факторов для формирования раннего прироста. На основе коэффициентов корреляции табл. 2 можно заключить, что положительное влияние на размер раннего прироста оказывала повышенная температура воздуха марта-июня предыдущего и января текущего года, пониженная – июля-октября предыдущего и февраля-мая текущего года, тогда как период ноября-декабря предыдущего года не имел существенного значения. Судя по данным табл. 3, увеличению интенсивности нарастания раннего прироста содействовало малое количество осадков в апреле предшествующего и марте текущего года, повышенное количество осадков в мае-августе и декабре предшествующего и январе текущего года.

В целом можно сделать вывод, что оптимальными условиями формирования раннего прироста является относительно теплая весна предшествующего года с малым количеством осадков, прохладное лето с обильными дождями, прохладная осень

(количество осадков не имеет существенного значения), мягкая средне- и многоснежная зима и прохладная сухая весна текущего года. Очевидно, что не все перечисленные условия имеют равное значение. На основе приведенных данных ключевыми условиями следует считать среднемесячную температуру апреля и августа и количество осадков в декабре-январе: в этих случаях показатели связи наиболее высоки и характерны для всех или большинства пробных площадей.

Варьирование показателей связи среднемесячной температуры воздуха с размером раннего прироста для одного и того же интервала времени на разных пробных площадях связаны не только со случайными ошибками выборки, но и с различиями в местоположении древостоев и степени сомкнутости крон. Так, оценки коэффициента корреляции в паре переменных «среднемесячная температура июля года $(n - 1)$ – ранний прирост года n » для древостоев в худших условиях произрастания средней части нагорий оказались в 1,3 раза меньше, чем для древостоев у подножия склонов; различие достоверно с вероятностью более 90% ($F\phi = 3,41$). Выявлена тенденция к уменьшению тесноты зависимости раннего прироста от колебаний среднемесячной температуры с увеличением сомкнутости крон, что, по-видимому, обусловлено большей стабильностью температурного режима в более густых насаждениях.

Достоверного влияния месячных сумм осадков на ранний прирост в связи с различиями в местоположении пробных площадей и таксационных характеристик древостоев не выявлено.

Соотношения между размером раннего прироста и количественными характеристиками наиболее существенных переменных факторов могут быть представлены в форме уравнений множественной регрессии. Так, для пробной площади 82В уравнение имеет вид:

$$Z_{p(n)} = 0,362 - 0,002797Df_{(n-1)} + 0,000523P_{V,VI(n-1)} + 0,003770P_{XII(n-1)} - 0,005066t_{VII(n-1)} + 0,004155t_{VIII(n-1)} - 0,000828t_{IV(n)} \quad (2)$$

где $Z_{p(n)}$ и $Df_{(n-1)}$ определены ранее, $P_{V,VI(n-1)}$ – суммарное количество осадков в мае и июне, $P_{XII(n-1)}$ – количество осадков в декабре года $(n - 1)$, мм; $t_{VII(n-1)}$, $t_{VIII(n-1)}$ и $t_{IV(n)}$ – среднемесячная температура июля и августа года $(n - 1)$ и апреля года n .

Стандартная ошибка уравнения $s_{y/x} = 0,048$ мм, что составляет 11,4% от средней многолетней оценки раннего прироста на этой пробной площади. Отклонения фактических значений прироста в отдельные годы от расчетных колеблются от 2,2 до 21,0%.

Используя средние многолетние значения независимых переменных уравнения (2), можно количественно охарактеризовать их вклад в итоговый результат, т.е. в величину функции $Z_{p(n)}$ в виде соотношения 0,23 : 0,10 : 0,31 : 0,20 : 0,15 : 0,01. Другими словами, относительное влияние отдельных факторов на формирование раннего прироста может быть ранжировано следующим образом (в порядке убывания): количество осадков в декабре – степень повреждения листьев насекомыми – среднемесячная температура июля – среднемесячная температура августа – количество осадков в мае-июне предыдущего года – среднемесячная температура апреля текущего года. Очевидно, что последним фактором практически можно пренебречь, поскольку его вклад составляет всего лишь 1%. В этом случае уравнение множественной регрессии приобретает вид:

$$Z_{p(n)} = 0,369 - 0,002808Df_{(n-1)} + 0,000519P_{V,VI(n-1)} + 0,003772P_{XII(n-1)} - 0,005296t_{VII(n-1)} + 0,003811t_{VIII(n-1)} \quad (3)$$

Моделирование возможных ситуаций с использованием последнего уравнения показывает, что максимально возможный размер раннего прироста на пробной площади 82В в анализируемый период при наиболее благоприятном сочетании погодных факторов и в отсутствии насекомых-фитофагов мог составить 0,858 мм, а минимальный при наихудших условиях роста – 0,058. Фактический средний прирост за 20-летний период составил $0,422 \pm 0,019$ мм.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о наличии сложного комплекса факторов внешней среды, определяющих динамику раннего прироста деревьев дуба в нагорных дубравах Саратовской области. Текущий ранний прирост практически полностью определяется особенностями предшествующего вегетационного периода и условиями зимовки, от которых зависит физиологическое состояние деревьев в начале очередного периода роста и развития. Определены статистические показатели, характеризующие зависимость размера прироста от степени повреждений листьев насекомыми-фитофагами, количества осадков и температурного режима; выделены ключевые периоды времени, оказывающие наибольшее влияние на интенсивность роста древесины. Дана оценка особенностей динамики раннего прироста в связи с различиями в местоположении древостоев и степени сомкнутости крон. Результаты исследований могут быть использованы при разработке количественных методов экологического и лесопатологического мониторинга.

Таблица 1.

Зависимость раннего прироста (Z_p , мм) от степени повреждения листьев в предыдущий год ($Df_{(n-1)}$, %). Результаты регрессионного анализа.

Пробная площадь	r	$\pm m_r$	P , %	a	b	$S_{y/x}$	$a + t_{05}S_{y/x}$
56А	-0,563	0,200	99,0	0,458	-0,00179	0,0606	0,577
56Б	-0,646	0,185	99,7	0,483	-0,00227	0,0626	0,606
56В	-0,513	0,208	98,0	0,381	-0,00156	0,0623	0,503
67А	-0,356	0,227	87,0	0,345	-0,00086	0,0435	0,431
69А	-0,644	0,186	99,7	0,512	-0,00222	0,0624	0,634
71А	-0,344	0,228	85,0	0,494	-0,00123	0,0740	0,639
71Б	-0,380	0,224	90,0	0,433	-0,00088	0,0553	0,541
71В	-0,358	0,226	87,0	0,346	-0,00061	0,0410	0,426
82А	-0,585	0,196	99,3	0,380	-0,00141	0,0560	0,490
82Б	-0,643	0,186	99,7	0,400	-0,00144	0,0482	0,494
82В	-0,485	0,212	96,5	0,506	-0,00199	0,0760	0,655
93А	-0,629	0,188	99,6	0,460	-0,00180	0,0601	0,578

Примечание к табл. 1. Символами обозначены: r – коэффициент корреляции; m_r – ошибка коэффициента корреляции; P – существенность коэффициента корреляции, %; a и b – эмпирические коэффициенты уравнения регрессии $Z_p = a + bDf_{(n-1)}$; $S_{y/x}$ – стандартная ошибка уравнения регрессии; t_{05} – критерий Стьюдента при вероятности 95%.

Таблица 2.

Связь размера раннего прироста со среднемесячной температурой воздуха

Древостой	Оценки коэффициента корреляции*														
	Месяцы предыдущего года										Месяцы текущего года				
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
56А	0,10	0,21	-0,02	0,22	-0,23	-0,49	-0,22	-0,35	-0,20	0,22	0,25	-0,03	0,06	-0,22	0,02
56Б	0,26	0,36	0,09	0,07	-0,43	-0,52	-0,34	-0,36	0,10	0,04	0,22	-0,08	0,09	-0,34	-0,01
56В	0,22	0,10	0,00	-0,10	-0,29	-0,48	-0,33	-0,08	-0,05	-0,05	0,31	0,05	-0,02	-0,58	0,04
67А	0,12	0,50	0,16	0,30	-0,28	-0,47	-0,38	-0,54	-0,13	0,14	0,17	0,19	0,03	-0,31	-0,19
69А	0,24	0,54	0,38	0,38	-0,29	-0,39	-0,20	-0,46	-0,08	0,16	0,08	-0,30	-0,03	-0,11	-0,11
71А	0,11	0,03	-0,12	-0,11	-0,35	-0,62	-0,34	-0,10	-0,12	0,08	0,33	0,14	-0,02	-0,49	-0,01
71Б	0,06	0,06	-0,12	-0,02	-0,40	-0,73	-0,28	-0,13	-0,17	0,19	0,42	-0,04	-0,01	-0,49	-0,11
71В	-0,01	0,30	0,22	0,26	-0,12	-0,48	-0,09	-0,03	-0,11	0,23	0,29	-0,21	-0,33	-0,44	-0,32
82А	0,29	0,40	0,20	0,15	-0,39	-0,52	-0,21	-0,41	-0,12	0,13	0,13	-0,26	0,05	-0,08	0,16
82Б	0,35	0,55	0,22	0,18	-0,27	-0,41	-0,26	0,45	-0,03	0,05	0,11	-0,20	0,12	-0,13	-0,26
82В	0,37	0,42	0,11	-0,04	-0,35	-0,56	-0,23	-0,25	0,16	0,02	0,17	-0,19	0,01	-0,23	0,17
93А	0,22	0,39	0,21	0,11	-0,27	-0,61	-0,11	-0,17	-0,01	0,08	0,24	-0,24	-0,18	-0,33	-0,01

*В таблицах 2 и 3 жирным шрифтом выделены оценки, достоверные с вероятностью $P > 80\%$

Таблица 3.

Связь размера раннего прироста с месячным количеством осадков.

Древостой	Оценки коэффициента корреляции*														
	Месяцы предыдущего года										Месяцы текущего года				
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
56А	0,00	-0,43	0,20	0,23	0,40	0,15	-0,22	-0,09	-0,24	0,72	0,35	0,10	-0,19	-0,06	0,05
56Б	-0,02	-0,25	0,45	0,38	0,24	0,13	0,01	-0,06	-0,08	0,78	0,24	0,09	-0,25	0,15	0,05
56В	0,25	-0,32	0,31	0,24	0,17	0,12	0,10	0,02	-0,13	0,50	0,47	0,17	-0,07	-0,09	-0,12
67А	0,19	-0,33	0,32	0,12	0,22	0,23	0,05	0,18	0,03	0,79	0,15	-0,14	-0,38	0,19	0,11
69А	0,01	-0,37	0,19	0,07	0,30	0,12	-0,18	0,13	-0,14	0,80	0,30	-0,02	-0,35	0,00	0,19
71А	0,34	-0,35	0,36	0,21	0,27	0,24	0,06	0,08	0,23	0,37	0,40	0,08	0,05	0,02	-0,18
71Б	0,25	-0,29	0,43	0,17	0,37	0,30	0,04	0,12	-0,19	0,50	0,28	-0,04	-0,12	0,03	-0,25
71В	0,28	-0,34	0,05	-0,10	0,37	0,25	-0,17	0,12	0,04	0,47	0,38	-0,05	-0,18	-0,15	0,06
82А	0,02	-0,14	0,32	0,30	0,23	0,22	-0,20	0,22	-0,24	0,78	0,13	-0,11	-0,35	-0,01	-0,05
82Б	-0,14	-0,25	0,26	0,34	0,12	0,15	-0,09	-0,04	-0,22	0,87	0,24	-0,08	-0,31	-0,14	-0,02
82В	0,05	-0,16	0,41	0,41	0,10	0,12	-0,05	0,06	-0,20	0,85	0,21	-0,10	-0,37	0,11	-0,15
93А	0,09	-0,35	0,16	0,21	0,33	0,25	-0,21	0,02	-0,22	0,70	0,43	-0,04	-0,23	-0,03	-0,14