



БИОЛОГИЯ

УДК 581.81 : 582.681.81

ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ТОПОЛЯ БЕЛОГО, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.Т. Бакулин

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Россия,
630090, г. Новосибирск,
ул. Золотодолинская, 101

E-mail: botgard@ngs.ru

Впервые приводится характеристика анатомического строения древесины тополя белого, произрастающего в поймах рек Западной Сибири на северо-восточной границе его ареала. Показана изменчивость габитуса волокон либриформа, а также различных элементов сосудистой ткани и сердцевинных лучей в зависимости от возраста дерева и района его произрастания. Выявлены некоторые структурные изменения в строении древесины по мере продвижения с юга на север.

Ключевые слова: тополь белый, Западная Сибирь, анатомия древесины, либриформ, сосуды, сердцевинные лучи.

Введение

Древесина тополей служит сырьем для производства целлюлозы, бумаги, вискозы, спичек и других товаров. Однако, до настоящего времени изученность особенностей ее анатомического строения у разных видов тополя не одинакова. В частности, анатомическое строение древесины тополя белого *Populus alba* L. (*Salicaceae*) исследовано недостаточно. Имеющиеся в научной литературе данные не многочисленны [1-3]. Из всех показателей, характеризующих волокна, в основном измерена их длина. Другие же параметры – диаметр и толщина стенки – исследованы слабо. Очень мало данных о варьировании габитуса волокон в зависимости от возраста дерева, а также о структуре других элементов, слагающих древесину (сосудов, сердцевинных лучей). Причем, исследования выполнены на образцах европейского происхождения. Изучение особенностей анатомического строения древесины тополя белого из разных районов Западной Сибири, где проходит северо-восточная граница его ареала, ранее не проводилось. В связи с этим предпринята попытка в некоторой мере восполнить этот пробел.

Объекты и методы исследования

Полевой материал собран в естественных насаждениях, произрастающих в поймах рек Западной Сибири. Ниже приводится размещение мест сбора материала по мере продвижения с юга на север:

р. Алей, окрестность с. Устьянка (Локтевский район Алтайского края). Состав насаждения 10 тополь белый (Тб), полнота 1.01, класс бонитета Ia. Возраст модельного дерева 36 лет, высота 20.0 м, диаметр ствола 29.0 см;

р. Алей, окрестность с. Локоть, 150 м от автотрассы (Локтевский район Алтайского края). Состав насаждения 5 Тб 5 тополь черный (Тч), полнота 0.91, класс бонитета I. Возраст модельного дерева 50 лет, высота 23.8 м, диаметр ствола 36.0 см;

р. Алей, окрестность с. Шипуново (Шипуновский район Алтайского края). Состав насаждения 10 Тб, полнота 1.27, класс бонитета Ib. Возраст модельного дерева 40 лет, высота 22.7 м, диаметр ствола 34.0 см;

р. Катунь, близ пос. Междуречье (Бийский район Алтайского края). Состав на-



саждения 10 Тб, полнота 1.10, класс бонитета Ib. Возраст модельного дерева 35 лет, высота 30.3 м, диаметр ствола 55.5 см.

р. Бобровка (среднее течение, правый берег). Первомайский район Алтайского края. Дикie заросли осокоря, березы, сосны и осины с общей полнотой 0.4. Класс бонитета Ia. Единично встречается тополь белый. Возраст модельного дерева 32 года, высота 20.0 м, диаметр ствола 28-30 см;

р. Обь, окрестность с. Рыбное, урочище Борок (Каменский район Алтайского края). Состав насаждения 8 Тб 2 Тч ед. береза (Б), полнота 1.07, класс бонитета Ia. Возраст модельного дерева 60 лет, высота 28.6 м, диаметр ствола 43.5 см;

р. Обь, правый берег, напротив г. Камень-на-Оби (Каменский район Алтайского края). Состав насаждения 6 Тб 4 Тч, полнота 0.78, класс бонитета Ib. Возраст модельного дерева 56 лет, высота 29.3 м, диаметр ствола 40.0 см;

р. Иня, правый берег (окрестность г. Новосибирска). Группа деревьев. Состав 10 Тб, полнота 0.98, класс бонитета Ia. Возраст модельного дерева 35 лет, высота 22.6 м, диаметр ствола 29 см;

р. Обь, окрестность с. Дубровино, близ протоки Уень (Мошковский район Новосибирской области). Состав насаждения 9 Тб 1 Б ед. Тч, полнота 1.03, класс бонитета Ia. Возраст модельного дерева 56 лет, высота 28.0 м, диаметр ствола 32.5 см;

р. Обь, окрестность с. Кругликово (Болотнинский район Новосибирской области). Состав насаждения 6 Тч 4 Тб + ива (И) ед. Б, ель (Е), кедр (К), полнота 1.26, класс бонитета I. Возраст модельного дерева 61 год, высота 22.8 м, диаметр ствола 32.5 см;

р. Обь, о. Телячий (Болотнинский район Новосибирской области). Состав насаждения 6 Тб 4 Б, полнота 1.0, класс бонитета I. Возраст модельного дерева 62 года, высота 26.0 м, диаметр ствола 37.5 см;

р. Обь, левый берег острова Орлов, близ с. Уртам (Кожевниковский район Томской области). Состав насаждения 9 Тб 1 Б, полнота 0.8, класс бонитета I-II. Возраст модельного дерева 48 лет, высота 24.0 м, диаметр ствола 20.0 см;

р. Обь, напротив с. Кожевниково (Кожевниковский район Томской области). Группа деревьев. Состав насаждения 10 Тб, полнота 1.22, класс бонитета I-Ia. Возраст модельного дерева 49 лет, высота 24.0 м, диаметр ствола 38.5 см;

р. Обь, правый берег протоки «Третья речка», напротив с. Кожевниково (Кожевниковский район Томской области). Это наиболее северная точка исследований. Состав насаждения 7 Тб 3 Тч, полнота 0.76, класс бонитета Ib. Возраст модельного дерева 57 лет, высота 28.6 м, диаметр ствола 53.0 см;

На выделенных участках леса заложены пробные площади, на каждой из которых было свалено среднее модельное дерево. Спилы сделаны с высоты ствола, равной 1,3 м от поверхности почвы, а также с 1/2 и 3/4 его длины. Образцы древесины брали на южной стороне ствола из средней части годовых колец, соответствующих возрасту 1, 10, 30, 50 лет. Средняя часть годового кольца использована для исследования в связи с тем, что имеется значительная разница по насыщенности сосудами между ранней и поздней древесиной. Измерение элементов древесины осуществлялось на трех взаимно перпендикулярных сечениях – поперечном, радиальном и тангентальном, а также на мацерированном материале. Для мацерации образцы кипятили в азотной кислоте с добавлением хлорновато-кислого калия ($KClO_3$). Полученную массу осторожно промывали дистиллированной водой и затем готовили препараты, используя методические разработки различных авторов [4-6]. В качестве красителя применен слабый раствор сафранина. Препараты изучали под микроскопом при разном увеличении. Число измерений для каждого типа элементов – 25-50. Исследованию подвергнуты сосуды, лучи и волокна либриформа. Длина члеников сосудов измерялась от конца одного клювика до конца другого.

Результаты и обсуждение

Сосудистые элементы. Древесина тополя белого рассеянно-сосудистого типа. Сосуды многочисленные. На поперечном срезе они не создают какого-либо определенного рисунка, наблюдается лишь некоторое скопление более или менее крупных



из них в весеннем приросте годичного кольца. Размер их сравнительно плавно уменьшается по мере перехода от ранней части годичного кольца к более поздней, где их диаметр достигает своего минимума.

Просветы сосудов расположены одиночно, парами, цепочками и группами по 3–9. Одиночные просветы округлые, овальные, слегка радиально удлиненные. Просветы, соединенные по 2 – угловато-округлые, а в цепочках и группах по 3–9 очертание их обычно угловатое, сплюснутое. В районе исследований среднее число просветов в одной цепочке или группе равно 2.5 ± 0.02 , что превышает аналогичные показатели у тополя черного из Западной Сибири (2.0 ± 0.02) и тополя душистого (2.2 ± 0.02) [7, 8].

У деревьев из разных районов произрастания наиболее распространены просветы, расположенные парами. В среднем они составляют 42.7% общего количества обследованных (5671 шт.). За ними следуют просветы, объединенные в цепочки по 3 (23.7%). На просветы, объединенные в цепочки и группы по 4–9, приходится всего лишь 16.7% (табл. 1). Одиночные просветы сосудов расположены диффузно и составляют в среднем 16.9% общего количества всех учтенных просветов.

При всем кажущемся хаотичном распределении в годичном кольце просветов на одиночные, парные, цепочки и группы, следует отметить две довольно устойчивые их особенности. Наибольшее число одиночных просветов (18.9–20.0%) наблюдается на образцах древесины, взятых из южных районов Западной Сибири (р. Алей, Алтайский край) и постепенно уменьшается по мере продвижения на север (в Томскую область), где их численность достигает своего минимума (14.4%). Наряду с этим, среднее число просветов, объединенных в цепочки или группы, наоборот постепенно увеличивается с юга на север. Различия по этому показателю достоверны.

В 30-летнем годичном кольце радиальный диаметр просветов одиночных сосудов у особей из разных популяций колеблется от 80.7 до 97.5 мкм, а тангентальный – 50.3–57.3 мкм, причем у северных образцов древесины эти показатели заметно меньше, чем у южных. Однако северные образцы содержат большее число сосудов на 1 мм^2 и более высокое объединение их в группы, чем южные. О структурных изменениях в водопроводящей системе ранее сообщалось рядом исследователей, изучавших анатомию древесины других видов растений, произрастающих в экстремальных условиях севера или высокогорья [9–11]. Вероятно эти изменения имеют адаптивное значение, направленное на сохранение общей площади водопроводящих путей для обеспечения нормального водоснабжения растения в более суровых условиях [11].

Сосуды состоят из отдельных, плотно сомкнутых друг с другом тонкостенных члеников. На мацерированном материале членики цилиндрической формы, длина их превышает диаметр в 6–8 раз. Перфорации простые, крупные, округлые или овальные. Расположены они на слабо наклонных конечных (поперечных) стенках. Средняя длина члеников колеблется от 610.2 мкм (пойма р. Алей, с. Устьянка) до 683.6 мкм (пойма р. Оби, с. Кругликово). Коэффициент вариации этого признака ($CV=15.8-17.7\%$) показывает средний уровень его изменчивости по эмпирической шкале С.А. Мамаева [12] (табл. 2).

На обоих концах членика сосуда имеются клювики разной длины. Пределы изменчивости длины клювиков (*min-max*) значительны – от 0 до 278 мкм. Средняя величина их у разных особей колеблется от 60.6 до 71.1 мкм. Коэффициент вариации очень высокий ($CV=61.1-70.8\%$). В пределах одного членика длина клювиков неодинакова и часто отличается в 2 раза и более. Суммарная длина двух клювиков каждого членика тоже величина переменная, хотя и менее вариабельна ($CV=45-48\%$), чем длина одного клювика.

Межсосудистые поры довольно крупные с хорошо развитым окаймлением. Расположены они очередно (косо, по спирали), чаще всего сближенно или почти сомкнуто. Окаймление пор округлое, у сомкнутых – округло-угловатое. Внутренние отверстия их слегка вытянутые, щелевидные, не достигающие границы окаймления. Диаметр межсосудистых пор характеризуется очень низким уровнем изменчивости ($CV=2.5-8.2\%$). Число пор по ширине сосуда 5–7 (единично 8) или 6–7 (ед. 8) шт. в Алтайском крае и 6–7 в Томской области.



Таблица 1

Группировка просветов сосудов на поперечных срезах древесины тополя белого в 30-летнем годичном кольце (от сердцевины ствола к периферии) на высоте 1.3 м

Район произрастания тополя, № п/п.	Осмотрено сосудов, шт./%	Просветы сосудов										среднее число в одной цепочке или группе	достоверность различий по критерию Стьюдента, $t_{факт}$
		одиночные	объединенные в цепочки по:										
			2	3	4	5	6	7	8	9			
1	762	144	348	193	56	15	6					2.3±0.03	
	100	18.9	45.7	25.3	7.3	2.0	0.8					контроль	
2	828	165	352	189	87	29	6					2.4±0.04	
	100	20.0	42.5	22.8	10.5	3.5	0.7						
3	900	164	386	231	79	40						2.4±0.03	2.3*
	100	18.2	42.9	25.7	8.8	4.4							
4	650	115	266	144	84	35	6					2.5±0.04	4***
	100	17.7	40.9	22.2	12.9	5.4	0.9						
5	794	119	342	189	80	40	24					2.6±0.04	6***
	100	15.0	43.1	23.8	10.1	5.0	3.0						
6	727	105	324	167	72	15	36		8			2.6±0.05	5.1***
	100	14.4	44.6	23.0	9.9	2.1	4.9		1.1				
7	1010	147	404	233	74	45	54	28	16	9		2.9±0.05	10.3***
	100	14.6	40.0	23.0	7.3	4.5	5.3	2.8	1.6	0.9			
Итого, шт.	5671	959	2422	1346	532	219	132	28	24	9		2.5±0.02	
%	100	16.9	42.7	23.7	9.4	3.9	2.3	0.5	0.4	0.2			

* $P < 0.05$, *** $P < 0.001$.

Примечание к табл. № 1 и № 2. Районы произрастания тополя: 1 – р. Алей, с. Устьянка; 2 – р. Алей, с. Локоть; 3 – р. Обь, г. Камень-на-Оби; 4 – р. Обь, с. Кругликово; 5 – р. Обь, о. Телячий; 6 – р. Обь, о. Орлов; 7 – р. Обь, с. Кожевниково.

Таблица 2

Характеристика сосудов в 30-летнем годичном кольце тополя белого (от сердцевины ствола к периферии) на высоте 1.3 м от поверхности почвы

Район произрастания тополя, № п/п.	Ширина годичного кольца, мм	Диаметр тангентальный, мкм	Диаметр радиальный, мкм	Длина членика, мкм	Длина клювика, мкм	Диаметр межсосудистых пор, мкм	Среднее число сосудов на 1 мм ²
		$M \pm m$ CV	$M \pm m$ CV	$M \pm m$ CV	$M \pm m$ CV	$M \pm m$ CV	
1	3.5	57.1±1.22	97.5±1.71	610.2±14.90	60.6±5.30	10.3±0.12	82.7±1.31
		15.1	12.4	17.3	61.8	8.2	7.9
2	3.0	57.3±1.38	93.8±1.70	643.1±16.10	66.6±6.00	9.9±0.08	83.0±1.30
		17.0	12.8	17.7	63.7	5.7	7.8
3	3.5	57.3±1.24	91.6±1.84	643.0±16.11	64.8±5.60	9.7±0.09	83.6±1.30
		15.3	14.2	17.5	61.1	6.6	7.8
4	3.0	53.8±1.04	84.6±1.71	683.6±15.34	68.6±6.75	9.6±0.10	98.4±1.50
		13.6	14.3	15.9	69.6	7.4	7.6
5	2.1	51.6±1.19	81.9±1.50	–	–	8.7±0.04	99.2±1.51
		16.3	12.9	–	–	3.3	7.6
6	1.5	50.5±1.10	80.7±1.37	668.4±14.93	71.1±7.12	8.8±0.04	100.1±1.61
		15.4	12.0	15.8	70.8	3.2	8.0
7	2.7	50.3±1.07	81.3±1.40	658.3±15.4	68.4±6.16	8.6±0.03	112.0±2.40
		15.0	12.2	16.3	63.7	2.5	10.7



Либриформ. Волокна либриформа составляют основную массу древесины и во многом определяют ее технические свойства. Колебания в размерах волокон значительны. На одном и том же поперечном срезе ствола средняя длина их постепенно, но неуклонно увеличивается в направлении по радиусу от сердцевины к коре, т.е. с возрастом. У обследованных деревьев средняя длина волокон в 1-летнем годовичном кольце колеблется в пределах 441–558 мкм, а в 50-летнем – от 1159 до 1258 мкм. Максимальная длина некоторых волокон достигает 1620 мкм. Наиболее резкое увеличение этого показателя (в 1.9–2.3 раза) происходит в первые 10 лет жизни растения (табл. 3).

Не обнаружена прямая связь между шириной годовичного кольца и средней длиной волокон в нем. Постепенное увеличение средней длины волокон хорошо прослеживается лишь с возрастом дерева.

С увеличением длины волокон возрастает их средний диаметр, который в разном возрасте колеблется в пределах 16.1–28.0 мкм и толщина стенок – 1.6–2.9 мкм. Не выявлена существенная разница между средними показателями габитуса волокон либриформа у деревьев, растущих в южных районах Западной Сибири, в сравнении с северными образцами тополя, удаленными от них до 600 км. И только в 50-летнем годовичном кольце длина волокон у северных образцов меньше, чем у южных.

Сравнивая тополь белый с некоторыми другими видами тополя, произрастающими в Сибири, следует отметить, что по длине волокон он уступает тополю черному, однако заметно превосходит тополь лавролистный и тополь душистый. И только в первом годовичном кольце тополь белый немного уступает тополю душистому [7, 8, 13].

Таблица 3

Габитус волокон либриформа в древесине тополя белого (n=50)

Возраст, лет	Ширина годовичного кольца, мм	Габитус волокон, мкм		
		длина	диаметр	толщина стенки
1	2	3	4	5
Пойма р. Алей, с. Устьянка (Алтайский край)				
1	2.5	484.8±11.7	18.3±0.4	1.8±0.04
10	2.7	977.3±18.0	23.5±0.4	2.4±0.04
30	3.5	1172.3±19.7	26.0±0.5	2.6±0.04
Пойма р. Алей, с. Локоть (Алтайский край)				
1	2.5	470.0±14.1	18.0±0.4	1.8±0.04
10	3.0	954.6±17.4	23.6±0.4	2.3±0.04
30	3.0	1144.5±18.5	25.8±0.4	2.6±0.04
50	3.5	1210.3±22.8	27.7±0.5	2.9±0.05
Пойма р. Алей, с. Шипуново (Алтайский край)				
1	3.0	484.9±14.0	18.1±0.4	1.8±0.04
10	3.0	967.2±17.2	23.0±0.4	2.3±0.04
30	2.5	1195.1±20.1	25.7±0.5	2.6±0.04
40	2.7	1212.8±22.0	27.8±0.5	2.8±0.05
Пойма р. Обь, с. Рыбное (Алтайский край)				
1	2.5	473.0±14.6	18.4±0.4	1.8±0.04
10	3.0	959.6±18.0	23.4±0.4	2.5±0.04
30	3.5	1197.6±21.2	26.4±0.5	2.6±0.05
50	2.5	1258.4±22.1	28.0±0.6	2.8±0.05
Пойма р. Бобровка (Алтайский край)				
1	3.0	464.6±10.2	17.9±0.4	1.8±0.04
10	3.0	876.0±17.1	22.8±0.4	2.3±0.04
30	5.0	1169.9±19.5	24.0±0.5	2.4±0.04
Пойма р. Обь, напротив г. Камень-на-Оби (Алтайский край)				
1	3.2	478.5±12.0	16.1±0.4	1.6±0.04
10	4.0	957.1±17.8	23.2±0.4	2.3±0.04
30	3.5	1149.5±19.1	24.7±0.5	2.5±0.04
50	3.0	1240.2±22.6	26.6±0.5	2.8±0.05



Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Пойма р. Иня, окрестность г. Новосибирска				
1	3.5	446.6±10.0	18.1±0.4	1.8±0.04
10	5.0	950.2±17.2	23.2±0.4	2.3±0.04
30	4.3	1125.0±19.4	25.0±0.5	2.5±0.04
Пойма р. Обь, с. Дубровино (Новосибирская область)				
1	2.5	441.8±10.6	16.7±0.4	1.7±0.04
10	2.3	1015.3±18.2	23.6±0.4	2.3±0.04
30	2.5	1093.8±19.4	24.6±0.4	2.5±0.04
50	2.5	1203.0±20.5	26.7±0.6	2.7±0.05
Пойма р. Обь, с. Кругликово (Новосибирская область)				
1	2.0	489.9±11.3	18.3±0.4	1.8±0.04
10	2.2	944.4±18.1	23.3±0.4	2.4±0.04
30	3.0	1126.7±19.9	25.0±0.5	2.5±0.04
50	3.5	1202.7±21.6	27.3±0.5	2.7±0.05
Пойма р. Обь, о. Телячий (Новосибирская область)				
1	3.5	455.8±11.1	18.0±0.4	1.8±0.04
10	1.5	962.2±18.0	23.0±0.4	2.3±0.04
30	2.1	1119.1±19.4	25.1±0.5	2.6±0.05
50	2.0	1200.2±21.8	27.2±0.6	2.8±0.05
Пойма р. Обь, о. Орлов (Томская область)				
1	2.0	459.5±13.5	18.0±0.4	1.8±0.04
10	1.7	871.0±17.1	23.0±0.4	2.4±0.04
30	1.5	1141.9±20.3	25.3±0.6	2.6±0.05
Пойма р. Обь, с. Кожевниково (Томская область)				
1	3.0	441.3±9.3	18.0±0.4	1.8±0.04
10	2.5	939.3±17.7	22.3±0.5	2.2±0.04
30	2.7	1102.0±19.0	23.9±0.5	2.4±0.05
49	2.5	1159.6±20.9	26.3±0.5	2.6±0.05
Пойма р. Обь, протока «Третья речка», с. Кожевниково (Томская область)				
1	3.0	462.0±14.0	18.0±0.4	1.8±0.04
10	5.0	1022.9±19.1	23.9±0.4	2.3±0.04
30	4.0	1169.8±19.3	26.1±0.5	2.6±0.05
50	3.0	1180.0±20.9	27.1±0.5	2.7±0.05
Пойма р. Катунь, пос. Междуречье (Алтайский край)				
1	6.0	558.3±13.0	21.2±0.5	2.1±0.04
10	8.0	1098.9±17.3	23.4±0.6	2.8±0.05
30	10.0	1202.7±22.4	25.9±0.6	2.9±0.05

Из обследованных модельных деревьев следует особо отметить образец из поймы Катунь (близ пос. Междуречье), у которого уже в 30-летнем годичном кольце средняя длина волокон либриформа составляет 1202.7 мкм, а максимальная – 1595 мкм. В 35 лет высота его 30.3 м. Насаждение, в составе которого рос этот тополь, характеризуется высокой продуктивностью и поэтому лучшие его особи могут служить ценным объектом для интродукции и селекции. Хорошими показателями длины волокон характеризуется тополь белый из урочища Борок, расположенного недалеко от с. Рыбное Алтайского края.

Сердцевинные лучи однорядные, узкие. На поперечном срезе древесины они в виде прямых линий разной длины проходят по радиусу ствола от сердцевины к коре. При встрече с сосудами изгибаются, при переходе из одного годичного кольца в другой не расширяются.

На радиальном срезе древесины луч представлен многослойной лентой. Клетки его длинные, обычно лежащие (гомогенный луч). На тангентальном срезе лучи линейные, их клетки округло-вытянутые, узкие.

У тополя белого из разных его популяций среднее число лучей на 1 мм в 30-летнем годичном кольце устойчиво сохраняется в пределах 9.7–10.1 шт., демонстрируя низкий уровень изменчивости ($CV=9.4-12.5\%$) (табл. 4).

В ленте луча содержится по высоте от 4 до 28 клеток, чаще всего 10–16 клеток. Коэффициент вариации слойности лучей равен 28.3–31.2%, что по шкале С.А. Мамаева [12] относится к высокому уровню изменчивости признака. Обнаружено также, что среднее число слоев клеток в ленте луча у северных образцов древесины (из Томской и севера Новосибирской области) заметно больше, чем у образцов с юга Алтайского края. Средняя высота клеток лучей колеблется от 17.4 до 20.1 мкм, варьируя в пределах низкого уровня изменчивости ($CV=10.2-13.0\%$).

Таблица 4

Характеристика сердцевинных лучей в 30-летнем годичном кольце (от сердцевины к коре) тополя белого на высоте 1.3 м от поверхности почвы

Район произрастания тополя, № п/п.	Число лучей на 1 мм	Число слоев клеток в ленте луча	Высота клетки луча, мкм	Число рядов пор на стенке клетки луча	Диаметр поры, мкм
	$M \pm m$ CV	$M \pm m$ CV	$M \pm m$ CV		$M \pm m$ CV
1	9.7±0.23	11.1±0.46	20.1±0.35	2-3	8.1±0.18
	11.8	29.3	12.3		11.1
2	9.9±0.25	12.0±0.48	18.3±0.30	2-3	8.1±0.19
	12.5	28.3	11.7		11.7
3	9.7±0.24	12.9±0.57	19.5±0.28	2-3 (4)	8.0±0.21
	12.4	31.2	10.2		13.1
4	10.0±0.20	14.3±0.60	18.2±0.30	2	6.8±0.17
	10.0	29.7	11.6		12.5
5	9.7±0.22	14.2±0.58	17.9±0.29	2	6.6±0.16
	11.3	28.9	11.4		11.4
6	10.0±0.19	14.1±0.57	17.4±0.32	2-3. ед. 1	7.2±0.20
	9.5	28.6	13.0		13.9
7	10.1±0.19	14.5±0.61	19.6±0.32	2-3	8.0±0.22
	9.4	29.7	11.5		13.8

Примечание. Районы произрастания тополя: 1 – р. Алей, с. Устьянка; 2 – р. Алей, с. Локоть; 3 – р. Обь, г. Камень-на-Оби; 4 – р. Обь, с. Кругликово; 5 – р. Обь, о. Телячий; 6 – р. Обь, о. Орлов; 7 – р. Обь, с. Кожевниково.

Поры на стенках клеток лучей округлые, овальные, простые (без окаймления), крупные. Средний диаметр их у разных особей находится в пределах 6.6–8.1 мкм и характеризуется низким уровнем изменчивости ($CV=11.1-13.9\%$). Поры расположены по высоте клетки очередно или супротивно, сближенно, обычно в 2 ряда, а на стенках краевых клеток луча в 3 ряда. Это характерно и для других видов тополей, произрастающих в Сибири [7, 8]. Однако в древесине тополя белого в расположении сосудисто-лучевых пор имеются некоторые особенности, которые не обнаружены во вторичной ксилеме других сибирских видов тополя. Так, например, у модельного дерева, взятого напротив г. Камень-на-Оби, в некоторых краевых клетках луча поры расположены в 4 ряда. У модельного дерева близ с. Кругликово и на о. Телячий (север Новосибирской области) поры в клетках луча, в том числе и в краевых клетках, расположены в 2 ряда. В топольнике на о. Орлов (Томская область) в краевых клетках луча поры расположены в 2–3 ряда, чаще в 2 ряда, а в других (не краевых) клетках – в 2 ряда и единично в 1 ряд, но в данном случае однорядные поры крупнее обычных.

В зрелой древесине не все клетки луча, пересекающие сосуды, имеют поры. По Брауну [14] лучи, все клетки которых имеют поры, являются контактными, а не имеющие пор – изолированными. Принимая во внимание это определение, лучи тополя белого и других сибирских видов тополя можно отнести к контактно-изолированному типу.

Соотношение объема тканей в древесине. Одним из показателей, характеризующих качество древесины тополя, является соотношение объемов ее структурных элементов – либриформа, сосудистой ткани и лучей.



Объем тканей определяли на поперечных срезах древесины с применением так называемого линейного метода, подробно изложенного в ряде работ [4, 15]. Для проведения исследований использованы те же самые модельные деревья, которые привлекались и для других анатомических исследований. Образцы брали с высоты 1.3 м ствола из средней части годовых колец, соответствующих 30-летнему возрасту дерева.

Измерения показали, что в древесине тополя белого преобладает либриформ, занимающий по объему 54–61%, что значительно превышает объем сосудистой ткани (табл. 5). Наибольшее количество либриформа обнаружено у тополя белого, растущего в пойме р. Алей, недалеко от с. Локоть (61%). Близкими к ним показателями по объему либриформа (58–59%) характеризуются образцы древесины тополя из окрестности с. Устьянка (пойма р. Алей), г. Камень-на-Оби (пойма р. Оби) и о. Орлов (пойма р. Оби). Все модельные деревья не имеют стволовой гнили.

Таблица 5

Соотношение объема тканей в древесине тополя белого на высоте 1.3 м от поверхности почвы

Место произрастания дерева (пойма реки)	Либриформ	Сосуды	Лучи
	% от общего объема древесины		
р. Алей, с. Устьянка	59	34	7
р. Алей, с. Локоть	61	32	7
р. Обь, г. Камень-на-Оби	58	35	7
р. Обь, с. Кругликово	54	38	8
р. Обь, о. Телячий	55	38	7
р. Обь, о. Орлов	58	34	8
р. Обь, с. Кожевниково	55	37	8
р. Катунь, пос. Междуречье	57	35	8

Изменчивость количественных показателей анатомических элементов древесины по радиусу ствола. Для исследования использовано 56-летнее модельное дерево высотой 29.3 м, с диаметром ствола 40 см, растущее на правом берегу Оби,

напротив г. Камень-на-Оби. Состав насаждения 6 Тб 4 Тч, полнота 0.78, класс бонитета Ib.

В результате измерения анатомических элементов вторичной ксилемы на высоте 1.3 м от уровня почвы в направлении по радиусу от сердцевины ствола к периферии выявлены следующие особенности (табл. 6). Длина и диаметр члеников сосудов с возрастом дерева увеличиваются. Ранее это отмечалось целым рядом исследователей на других объектах [9, 16–18]. Среднее количество сосудов на 1 мм² поперечного среза древесины с возрастом дерева уменьшается от 92.8 (в 10-летнем возрасте) до 81.1 (в 50 лет). Число же одиночных просветов сосудов в данном возрастном периоде сохраняется неизменным (18.2–18.6 %).

Таблица 6

Изменчивость размера анатомических элементов вторичной ксилемы тополя белого по радиусу ствола

Элементы древесины	Число годовых колец от сердцевины к коре (возраст дерева)					
	10		30		50	
	$M \pm m$	CV, %	$M \pm m$	CV, %	$M \pm m$	CV, %
1	2	3	4	5	6	7
Сосуды						
Диаметр тангентальный, мкм	54.3±1.20	15.6	57.3±1.24	15.3	60.1±1.34	15.8
Диаметр радиальный, мкм	83.0±1.95	16.6	91.6±1.84	14.2	97.3±2.35	17.1
Длина членика, мкм	541.8±14.92	19.5	643.0±16.11	17.5	683.6±14.50	15.0
Диаметр межсосудистых пор, мкм	8.0±0.10	6.3	9.7±0.09	6.6	9.6±0.07	5.2
Число пор на поперечнике сосуда	5–6 (7)		5–7 (8)		6–7 (8)	
Число сосудов на 1 мм ²	92.8±1.40	7.5	83.6±1.30	7.8	81.1±1.30	8.0
Число одиночных просветов сосудов, %	18.5		18.2		18.6	

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
Либриформ						
Длина волокон, мкм	957.1±17.80	13.2	1149.5±19.10	11.7	1240.2±22.60	12.9
Диаметр волокон, мкм	23.2±0.40	12.2	24.7±0.50	14.3	26.6±0.50	13.3
Толщина стенки, мкм	2.3±0.04	12.3	2.5±0.04	11.3	2.8±0.05	12.6
Сердцевинные лучи						
Рядность лучей	однорядные		однорядные		однорядные	
Число лучей на 1 мм	9.7±0.21	10.8	9.7±0.24	12.4	10.0±0.20	10.0
Ширина клетки луча, мкм	7.6±0.13	8.5	8.0±0.14	8.7	7.7±0.14	9.1
Высота клетки, мкм	17.0±0.20	8.3	19.5±0.28	10.2	20.1±0.31	10.9
Число слоев клеток в ленте луча	11.3±0.57	35.7	12.9±0.57	31.2	13.0±0.70	32.3
Высота луча	185.0±9.80	37.4	–	–	250.5±10.80	30.5
Число рядов пор на стенке клетки луча	2–3		2–3 (4)		2–3	

Габитус волокон либриформа (длина, диаметр и толщина стенки) увеличивается в направлении от сердцевины ствола к коре. Это биологическое свойство дерева генетически обусловлено и имеет адаптивное значение. Ведь с повышением возраста дерева увеличивается его масса, а также объем кроны и высота ее расположения, т.е. парус кроны. Увеличение габитуса волокон, происходящее в процессе онтогенеза, повышает прочность древесины, увеличивает сопротивление ее на изгиб и на растяжение вдоль волокон, а вследствие этого предотвращает разрыв тканей при сильном раскачивании дерева ветром. В естественных условиях ветролом (бурелом) стволов у тополя белого практически не встречается.

Заметные изменения по радиусу ствола происходят у сердцевинных лучей. С возрастом дерева увеличиваются такие показатели как высота клеток луча, число слоев клеток в ленте луча и высота луча. Число же лучей на 1 мм с возрастом дерева остается без существенных изменений. Однорядность луча сохраняется независимо от возраста дерева.

Заключение

Древесина тополя белого в районе исследований характеризуется довольно хорошим качеством. В насаждениях, не пройденных низовыми пожарами, она не имеет гнили, в ней преобладает либриформ, значительно превышающий объем сосудистой ткани. Габитус волокон либриформа увеличивается в направлении от сердцевины ствола к коре, т.е. с возрастом дерева. Наиболее резкое увеличение происходит в первые 10 лет жизни растения. Встречаются отдельные генотипы с удлиненными волокнами либриформа и более высоким показателем объема этой ткани в древесине.

Выявлены некоторые структурные изменения в строении древесины по мере продвижения с юга на север на отрезке ареала вида, протяженностью около 600 км. В более северных районах наблюдается уменьшение диаметра сосудов, увеличение их числа на 1 мм² и более высокое объединение в группы, достигающее 7–9 просветов на группу. Среднее число слоев клеток в ленте луча у северных образцов тоже больше, чем у южных.

Количественные показатели анатомических элементов сильно варьируют. Поэтому при отборе в природе ценных генотипов для выращивания на древесину (клонами) или селекционной работы наряду с дендрологической характеристикой особи, целесообразно исследовать также и особенности анатомического строения ее древесины.

Список литературы

1. Богданов П.Л. Размеры древесных волокон у гибридных тополей // Лесн. журн. – 1960. – № 1. – С. 29–30.
2. Зархина Е.С. Размеры древесных волокон тополей в Амурской области // Лесн. журн. – 1969. – № 6. – С. 149–150.



3. Сиволапов А.И. Тополь сереющий: генетика, селекция, размножение. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2005. – 158 с.
4. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 337 с.
5. Барыкина Р.П., Кострикова Л.Н., Кочемарова И.П. и др. Практикум по анатомии растений. – М.: Росвузиздат, 1963. – 184 с.
6. Фурст Г.Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. – М.: Наука, 1979. – 154 с.
7. Бакулин В. Т. Тополь черный в Западной Сибири. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. – 121 с.
8. Бакулин В. Т. Тополь душистый в Сибири. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 110 с.
9. Умаров М.У. Пути адаптации водопроводящей ткани древесно-кустарниковых растений к горным местообитаниям: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – СПб., 1992. – 32 с.
10. Бенькова В.Е., Некрасова А.А. Структурные изменения древесины кизильника, яблони и рябины в связи с условиями среды // Лесоведение. – 2002. – № 2. – С. 76–80.
11. Чавчавадзе Е.С., Сизоненко О.Ю. Структурные особенности древесины кустарников и кустарничков арктической флоры России. – СПб.: Росток, 2002. – 250 с.
12. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). – М.: Наука, 1972. – 284 с.
13. Бакулин В.Т. Тополь лавролистный. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 123 с.
14. Braun H.J. Funktionelle Histologie der sekundären Sprossachse. 1. Das Holz. Berlin. – 1970. – 192 с.
15. Атлас древесины и волокон для бумаги / Под ред. Е.С. Чавчавадзе. – М.: Ключ, 1992. – 311 с.
16. Гзырян М.С. Семейство *Salicaceae* и его положение в системе покрытосеменных по данным анатомии древесины: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ереван, 1949. – 18 с.
17. Bailey I.W. Evolution of the tracheary tissue of land plants // Amer. J. Bot. – 1953. – Vol. 40, № 1. – P. 4–8.
18. Смилга Я.Я. Осина. – Рига: «Зинатне», 1986. – 238 с.

PATTERN OF ANATOMIC STRUCTURE OF WOOD OF *POPULUS ALBA* GROWING IN WEST SIBERIA

V.T. Bakulin

Central Siberian Botanical Garden,
SB RAS,
Zolotodolinskaya St., 101, Novosibirsk,
630090, Russia

E-mail: botgard@ngs.ru

A characteristic of anatomic structure of wood of *P. alba* growing in the floodplains of West Siberia at the north-eastern limits of its area has been given for the first time. Variations of libriform fiber habitus of different elements of trachechyma and medullar rays depending on tree age and region of growing are shown. Some wood structural changes on the way from the South to the North have been revealed.

Key words: *Populus alba*, West Siberia, wood anatomy, libriform, vessels, medullar rays.