

## Изменчивость берёзы повислой по содержанию бетулина и суберина в бересте в зависимости от диаметра деревьев на одной пробной площади

**Р.И. Виокурова**, д.б.н., профессор, **И.Ю. Трошкова**, к.б.н.,  
**А.И. Виокуров**, к.х.н., ФГБОУ ВО Поволжский ГТУ

Береста берёзы повислой *Betula pendula* Roth., содержащая до 50% экстрактивных веществ, представляет потенциальный интерес для химической переработки с целью получения новых продуктов и биологически активных веществ. Утилизация бересты, содержащей ценные природные соединения, является актуальной. В результате окорки берёзовой древесины на деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных предприятиях скапливается огромное количество берёзовой коры в качестве отходов. Тритерпеновый спирт бетулин – основной компонент экстрактивных веществ, извлекаемых из бересты. Благодаря доступности сырья, простоте извлечения, ряду ценных свойств и низкой токсичности бетулин имеет многообразные возможности для применения в различных отраслях. Наряду с бетулином из бересты извлекается суберин, липофильное высокомолекулярное вещество из клеточных оболочек опробковевших тканей. Продукты конденсации суберина используются для синтеза поверхностно-активных и плёнообразующих материалов.

Работы по изучению индивидуальной изменчивости функциональных признаков *Betula pendula* недостаточно полные. Сведений по изменчивости отдельных особей *Betula pendula* в пределах популяции по накоплению бетулина и суберина в бересте деревьев в литературе не встретилось. Систематизированных и детальных исследований изменчивости *Betula pendula* по содержанию бетулина и суберина в бересте на данной территории не проводилось.

**Материал и методы исследования.** Цель данного исследования – изучение изменчивости *Betula pendula* по содержанию бетулина и суберина в бересте деревьев, произрастающих на территории Республики Марий Эл (РМЭ) в естественных

популяциях *Betula pendula* [1, 2] на одной пробной площади (ПП). На данной ПП в условиях сураменей сформировался березняк липовый (С<sub>2</sub>), занимающий хорошо дренированные почвы на слабых склонах. Состав древостоя 6Б2Лп2Е. Относительная полнота древостоя 0,7; класс бонитета II; А<sub>ср.</sub> 63 года, Н<sub>ср.</sub> 25,8 м; D<sub>ср.</sub> 25,3 см. Образцы бересты 5Ч5 см отбирали индивидуально с каждого из 18 модельных деревьев (МД) на высоте ствола 1,3 м в четырёх геодезических направлениях. Диаметр деревьев составлял от 11 до 31 см.

Для извлечения экстрактивных веществ бетулина и суберина использовали совмещённый способ [3]. Обработку экспериментального материала проводили методами корреляционного и регрессионного анализов, описательной статистики с использованием программ Статистика, SPSS и Microsoft Excel.

**Результаты исследования.** Результаты химических анализов содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра в одной популяции и средние значения изученных показателей приведены в таблицах 1 и 2.

Из представленных данных следует, что лимиты фактических значений содержания изучаемых веществ в бересте *Betula pendula* (8,42–16,78% для бетулина и 7,69–16,78% для суберина) отличаются значительно. Средние значения содержания бетулина (13,83%) и суберина (13,95%) в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих в одинаковых условиях, почти равнозначны.

Величина коэффициента вариации диаметра деревьев *Betula pendula* (23,41%) показывает повышенный уровень изменчивости этого показателя. Коэффициенты вариации содержания бетулина и суберина в бересте (16,91% и 16,53% соответственно) характеризуют средний уровень изменчивости этих веществ в данной популяции *Betula pendula*.

1. Содержание бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра в пределах одной популяции

№ п/п	D, см	C <sub>бер.</sub> %	C <sub>суб.</sub> %	№ п/п	D, см	C <sub>бер.</sub> %	C <sub>суб.</sub> %
1	11,0	8,42±2,01	7,69±0,47	10	24,5	14,2±2,12	14,19±1,19
2	14,0	10,85±0,10	13,32±0,91	11	25	13,78±0,64	13,98±1,79
3	16,0	10,55±2,05	14,18±0,73	12	25,5	13,55±0,69	14,59±0,10
4	18,0	13,45±1,02	16,24±1,15	13	26	14,24±0,07	14,38±0,69
5	20,0	16,56±2,06	15,71±2,32	14	26,5	15,66±2,92	14,91±1,03
6	21,5	16,78±0,36	16,2±0,53	15	27	15,36±1,97	13,34±0,73
7	22,5	15,4±0,46	16,78±1,66	16	27,5	14,49±0,52	11,43±0,95
8	23,6	16,32±0,47	15,44±0,67	17	29,5	14,89±1,07	14,47±0,21
9	24	14,03±0,23	14,52±0,24	18	31,2	10,45±0,69	9,68±0,36

2. Статистические показатели содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра в пределах одной популяции

Показатель	X	M <sub>x</sub>	σ	X <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	N	V, %
D, см	22,96	1,27	5,38	11,0	31,2	18	23,41
C <sub>бер.</sub> %	13,83	0,55	2,34	8,42	16,78	18	16,91
C <sub>суб.</sub> %	13,95	0,54	2,31	7,69	16,78	18	16,53

Показатель коэффициента вариации для бетулина (16,91%) превышает это значение, выявленное при изучении содержания бетулина (10,75%) в бересте деревьев *Betula pendula* различного географического происхождения [1]. Для суберина это значение (16,53%) меньше показателя, полученного при изучении географической изменчивости (18,52%) деревьев *Betula pendula* [1].

Представляло интерес сравнить полученные данные с результатами для усреднённого образца бересты. Усреднённый образец бересты взят с 10 деревьев диаметром от 21 до 29,5 см.

Значения содержания бетулина (17,47±0,49%) и суберина (17,77±0,72%) в усреднённом образце несколько выше содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра в пределах одной популяции.

По данным однофакторного дисперсионного анализа, диаметр деревьев влияет на содержание бетулина ( $F_{факт.}=13,01 > F_{0,005}=2,41$ ) (табл. 3) и суберина ( $F_{факт.}=8,83 > F_{0,005}=2,41$ ) (табл. 4) в бересте *Betula pendula*. Последнее подтверждается значениями доли влияния фактора на изменчивость содержания бетулина ( $P_a=57,15\%$ ) и суберина ( $P_a=46,52\%$ ) в бересте деревьев.

Характер зависимости содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра описывается уравнениями:

для бетулина:  

$$C_{бер.} = 0,294 * D^{2,064} * \exp(-0,092 * D) - 7,711, \quad (1)$$

для суберина:  

$$C_{суб.} = 0,757 * D^{1,853} * \exp(-0,091 * D) - 15,504 \quad (2)$$

Графическое изображение моделей (1) и (2) представлено на рисунках 1 и 2.

3. Результаты дисперсионного анализа содержания бетулина в бересте деревьев *Betula pendula* в зависимости от диаметра

Источник варьирования	ss	df	ms	F <sub>факт.</sub>	F <sub>табл.</sub> при P=0,005	P <sub>a</sub> , %
Общее	346,58	53	-	13,01	2,41	57,15
Межгрупповое	199,40	5	39,88			
Внутри-групповое (случайное)	147,19	48	3,07			

4. Результаты дисперсионного анализа содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* в зависимости от диаметра

Источник варьирования	ss	df	ms	F <sub>факт.</sub>	F <sub>табл.</sub> при P=0,005	P <sub>a</sub> , %
Общее	310,40	53	-	8,83	2,41	46,52
Межгрупповое	148,71	5	29,74			
Внутри-групповое (случайное)	161,69	48	3,37			

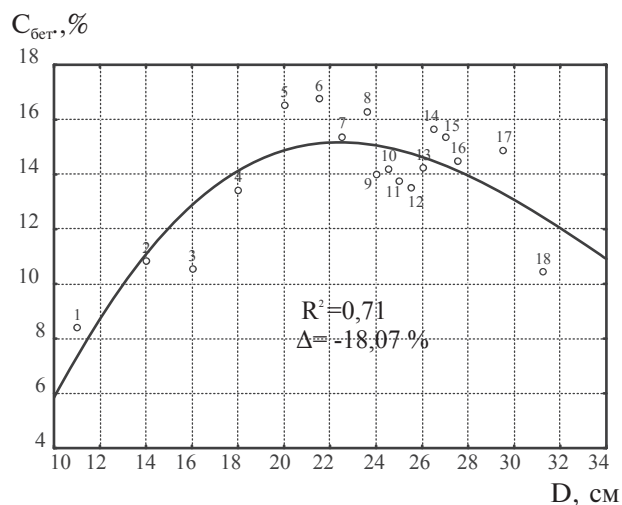


Рис. 1 – Зависимость содержания бетулина в бересте деревьев *Betula pendula* от диаметра

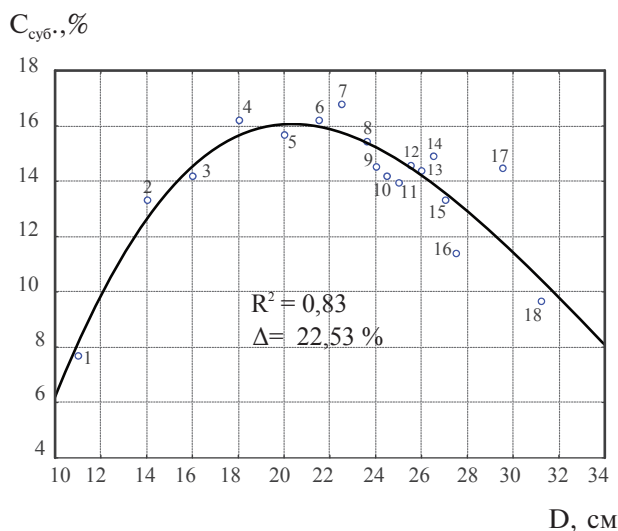


Рис. 2 – Зависимость содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* от диаметра

Фактические и расчётные значения содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра по моделям приведены в таблицах 5 и 6.

Значения максимальной относительной погрешности моделей составляют для бетулина – 18,07% и для суберина – 22,53% (табл. 5, 6), что сопоставимо со значениями коэффициентов вариации изучаемых веществ на данной ПП (табл. 2). Коэффициент детерминации  $R^2$  модели (1) составляет 0,71 и модели (2) – 0,83.

При увеличении диаметра деревьев от 11 до 20 см происходит накопление бетулина и суберина в пробковых клетках. Максимальное содержание изучаемых веществ в бересте наблюдается при значениях диаметра деревьев 22–24 см, что соответствует 6–7-му классу возраста деревьев *Betula pendula* II класса бонитета. С возрастанием диаметра деревьев от 21,5 до 31,2 см содержание изучаемых веществ в бересте *Betula pendula* уменьшается.

Представляло интерес описать зависимость содержания бетулина и суберина в бересте *Betula pendula* применительно к любой пробной площади, приняв значения диаметра деревьев в долях от среднего значения для данной ПП ( $R_d$  – редуцированное число):

$$R_d = D_i / D_{cp}$$

Полученные математические модели имеют вид: для бетулина:

$$C_{бет} = 34,116 \times (x-0,250)^{1,640} \times \exp(-1,856 \times (x-0,250)^{2,640}) + 6,160; \quad (3)$$

для суберина:

$$C_{суб} = 44,888 \times (x-0,250)^{0,939} \times \exp(-1,485 \times (x-0,250)^{1,939}). \quad (4)$$

Коэффициент детерминации моделей (3) и (4) составляет 0,73 и 0,81 соответственно. Максимальная относительная погрешность представленных моделей равна 15,67 и 23,30%.

### 5. Фактические и расчётные значения содержания бетулина в бересте деревьев *Betula pendula* от диаметра

№ п/п	D, см	A <sub>эксп.</sub>	A <sub>расч.</sub>	ε	Δ, %
1	11,0	8,42	7,34	1,08	14,72
2	14,0	10,85	11,08	-0,23	-2,03
3	16,0	10,55	12,88	-2,33	-18,07
4	18,0	16,56	14,13	-0,68	-4,81
5	20,0	16,56	14,87	1,69	11,35
6	21,5	16,78	15,13	1,65	10,92
7	22,5	15,40	15,17	0,23	1,52
8	23,6	16,32	15,11	1,21	8,02
9	24,0	14,03	15,06	-1,03	-6,84
10	24,5	14,20	14,98	-0,78	-5,22
11	25,0	13,78	14,88	-1,10	-7,42
12	25,5	13,55	14,77	-1,22	-8,25
13	26,0	14,24	14,64	-0,40	-2,70
14	26,5	15,66	14,49	1,17	8,10
15	27,0	15,36	14,32	1,04	7,24
16	27,5	14,49	14,14	0,35	2,45
17	29,5	14,89	13,31	1,58	11,91
18	31,2	10,45	12,47	-2,02	-16,17

### 6. Фактические и расчётные значения содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* от диаметра

№ п/п	D, см	A <sub>эксп.</sub>	A <sub>расч.</sub>	ε	Δ, %
1	11,0	7,69	8,14	-0,45	-5,58
2	14,0	13,32	12,63	0,69	5,43
3	16,0	14,18	14,53	-0,35	-2,44
4	18,0	16,24	15,64	0,60	3,82
5	20,0	15,71	16,06	-0,35	-2,15
6	21,5	16,20	15,98	0,22	1,40
7	22,5	16,78	15,76	1,02	6,45
8	23,6	15,44	15,40	0,04	0,26
9	24,0	14,52	15,24	-0,72	-4,71
10	24,5	14,19	15,01	-0,82	-5,49
11	25,0	13,98	14,77	-0,79	-5,34
12	25,5	14,59	14,50	0,09	0,60
13	26,0	14,38	14,22	0,16	1,13
14	26,5	14,91	13,92	0,99	7,14
15	27,0	13,34	13,60	-0,26	-1,90
16	27,5	11,43	13,27	-1,84	-13,84
17	29,5	14,47	11,81	2,66	22,53
18	31,2	9,68	10,45	-0,77	-7,40

Выявляется практически одинаковый характер накопления бетулина и суберина в бересте *Betula pendula* в пределах одной пробной площади (рис. 1, 2) и на любой ПП (рис. 3, 4). Кривые на рисунках 3 и 4 показывают оптимальное накопление бетулина

при значениях  $R_d$  от 0,8 до 1,1, а суберина – при  $R_d$  от 0,7 до 1,0.

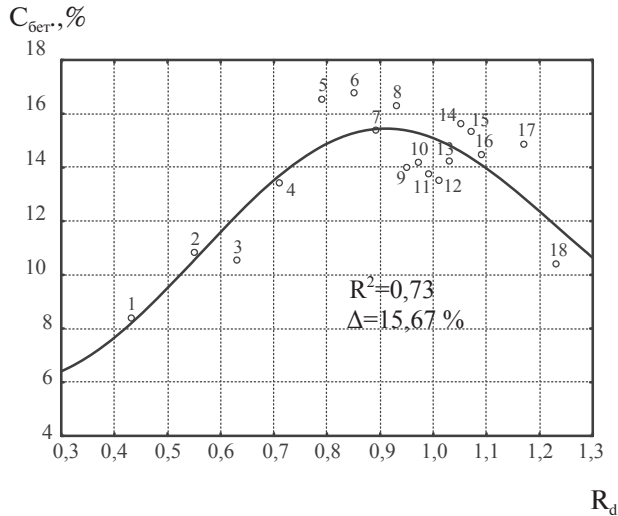


Рис. 3 – Зависимость содержания бетулина в бересте деревьев *Betula pendula* от  $R_d$

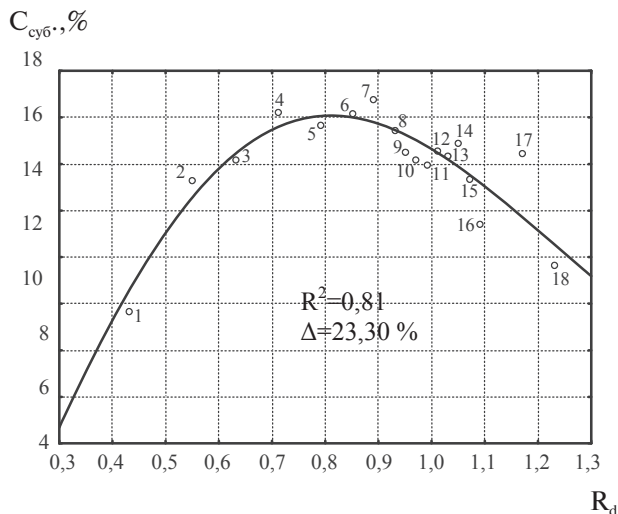


Рис. 4 – Зависимость содержания суберины в бересте деревьев *Betula pendula* от  $R_d$

Следовательно, в пределах отдельно взятой пробной площади максимальное количество бетулина и суберины накапливается в бересте деревьев *Betula pendula*, отличающихся лучшими адаптивными способностями.

**Вывод.** Выявлена изменчивость содержания бетулина и суберины в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих в пределах одной ПП, обусловленная индивидуальными условиями роста и развития отдельных деревьев *Betula pendula* внутри популяции. Полученные результаты согласуются с данными авторов [4–6], показавших, что в коре лиственных деревьев содержание экстрактивных веществ в большей степени зависит от их индивидуальных свойств, нежели от географических условий произрастания.

Полученные данные представляют практический интерес. Для отбора проб бересты с целью максимального извлечения бетулина и суберины следует выбирать спелые древостои, причём для II класса бонитета оптимальным является диаметр деревьев 22–24 см.

### Литература

1. Винокурова Р.И., Трошкова И.Ю. Изменчивость накопления бетулина и суберины в бересте *Betula pendula* в зависимости от географической зональности // Лесной журнал. 2008. Вып 3. С. 126–129.
2. Винокурова Р.И., Трошкова И.Ю., Винокуров А.И. Оценка биоиндикационных свойств бетулина и суберины в бересте берёзы повислой // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 1. С. 81–87.
3. Автор. св-во 382657 СССР, МКИ<sup>1</sup> С 08h 5/04. Способ выделения бетулина и суберины / Т.И. Федорищев, В.Г. Калайков (СССР). №1472003/23–4; заявл. 14.08.70; опубл. 23.05.73; Бюл. № 23.
4. Родионов В.С. Изменения в мембранных липидах растений при пониженных температурах // Липидный обмен древесных растений в условиях Севера. Петрозаводск, 1983. С. 4–68.
5. Черняева Г.Н., Долгодворова С.Я., Бондаренко С.М. Экстрактивные вещества берёзы. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1986. 123 с.
6. Черняева Г.Н. Долгодворова С.Я., Степень Р.А. Утилизация древесной биомассы. Красноярск, 1987. 166 с.