

УДК 630*905.2(47)

Р. И. Винокурова, И. Ю. Трошкова, А. И. Винокуров

ОЦЕНКА БИОИНДИКАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТУЛИНА И СУБЕРИНА В БЕРЕСТЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

*Исследовано содержание экстрактивных веществ бетулина и суберина в бересте деревьев березы повислой (*Betula pendula*), произрастающих в различных экологических условиях. Выявлено постепенное возрастание содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* при увеличении интенсивности промышленного загрязнения. Предложена математическая модель, описывающая закономерности изменения содержания бетулина и суберина в деревьях насаждений промышленной и селитебной зон города Йошкар-Олы и лесопарковой зоны Республики Марий Эл в зависимости от диаметра дерева.*

Ключевые слова: биоиндикация, береза повислая, суберин, бетулин.

Введение. В настоящее время все более широкое распространение получают методы дендроиндикации состояния и изменения окружающей среды под воздействием антропогенных факторов, прежде всего промышленных загрязнителей атмосферы и почвы.

Известно, что стрессовое влияние неблагоприятных факторов отражается на структурно-функциональных параметрах березняков [1]. Это выражается в уменьшении прироста, формировании ажурной кроны и диффузном усыхании. Установлено, что реакция березовых древостоев, особенно нарушенных антропогенным воздействием, может проявляться в снижении их устойчивости на дефолиацию насекомыми-филлофагами. Ослабление растений в результате воздействия промышленных выбросов усиливает их восприимчивость к грибным болезням [2].

Изучение содержания экстрактивных веществ бересты *Betula pendula* при воздействии неблагоприятных факторов представляет большой интерес для понимания механизма сопротивляемости деревьев. Изменчивость содержания бетулина и суберина в бересте особей *Betula pendula* в качестве ответной реакции на условия среды практически не изучена.

Цель данной работы состояла в выявлении закономерностей изменения содержания экстрактивных веществ бересты деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих в различных экологических условиях.

Объектом исследований служили насаждения *Betula pendula* в пределах г. Йошкар-Олы. Для выявления различий в содержании бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* различного диаметра, произрастающих в различных экологических условиях, на территории г. Йошкар-Олы выделены два типа функционального использования территории: селитебный (микрорайон «Дубки») и промышленный. Отбор проб в промышленной зоне проводили вблизи автовокзала, спорткомплекса «Юбилейный», ОАО ICN «Марбиофарм», ФГУП «ММЗ», троллейбусного депо и транспортных магистралей.

Для сравнения в качестве объектов исследований взяты березовые насаждения, расположенные в наиболее распространенных типах березняков в лесопарковой зоне (УОЛ, Нолькинское лесничество, квартал 26, выдел 1). Пробная площадь (ПП) в лесопарковой зоне закладывалась в березняке липовом (С₂), сформированном в условиях сураменей, на хорошо дренированных почвах на слабых склонах. Полнота древостоя высокая. Класс бонитета I–II. Встречаются осина, липа, пихта, ель, клён, единично – вяз. На ПП отбирались по 10 растущих деревьев *Betula pendula* каждого диаметра. Диаметр стволов на высоте 1,3 м измеряли мерной вилкой, высоту определяли с помощью эклиметра. На основании данных измерений общепринятыми в лесной таксации методами определялись основные таксационные показатели древостоя насаждения: состав, средний диаметр, средняя высота, средний возраст, класс бонитета, полнота.

Образцы коры размером 5×5 см отбирали на высоте ствола 1,3 м с растущих деревьев в четырех геодезических направлениях. Кору разделяли на бересту и луб (внутренний слой) вручную, удаляя посторонние примеси (лишайники, песок). Затем усредненные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния. Для определения равновесной (гигроскопической) влажности навеску воздушно-сухого образца взвешивали с точностью до 0,0001 г и высушивали до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105±2⁰С в течение 5 ч до постоянной массы. Влажность рассчитывали по [3].

Для химических анализов по содержанию бетулина и суберина высушенные до абсолютно сухого состояния образцы бересты измельчали в гомогенизаторе до частиц размером не более 1х3 мм [4]. Для извлечения бетулина и суберина из бересты использовали совмещенную методику, предложенную Т. И. Федорищевым и В. Г. Калайковым [5].

Результаты исследования и их обсуждение. Данные по содержанию бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих на территориях различного функционального использования: селитебной зоне и промышленной зоне, представлены в табл. 1.

Для сравнения в этой же таблице приведены данные, полученные при изучении зависимости накопления бетулина и суберина в бересте *Betula pendula* от диаметра на пробной площади, которая отнесена к лесопарковой зоне.

Т а б л и ц а 1

Содержание бетулина (С_{бет}, %) и суберина (С_{суб}, %) в бересте деревьев *Betula pendula* различного диаметра (D, см), произрастающих на территориях различного функционального использования

D, см	С _{бет} , %	С _{суб} , %
Лесопарковая зона		
11,0	8,42±2,01	7,69±0,47
16,0	10,55±2,05	14,18±0,73
21,5	16,67±0,11	16,2±0,53
23,6	14,59±0,81	15,44±0,67
27,0	15,36±0,97	12,39±0,96
29,5	14,89±1,07	14,47±0,21
31,2	10,45±1,69	9,68±0,36

D, см	C _{бет} , %	C _{суб} , %
Селитебная зона		
11,9	13,21±0,50	13,97±1,26
16,3	16,07±0,17	16,15±0,28
21,2	17,28±0,26	17,49±1,42
23,0	18,01±0,20	18,19±0,09
27,0	17,68±0,10	18,10±1,13
29,3	14,93±0,63	14,67±3,57
32,3	13,36±0,72	14,88±1,30
Промышленная зона		
12,3	15,03±0,58	9,79±0,32
16,6	15,26±0,33	15,84±0,56
21,4	15,66±0,49	16,04±0,68
23,8	16,36±0,69	15,18±0,87
27,0	18,90±0,60	18,80±0,07
30,6	19,38±0,27	18,74±0,50
37,8	16,59±0,31	13,57±0,32

Т а б л и ц а 2

**Влияние зоны отбора проб (фактор А) и диаметра деревьев (фактор В)
на содержание бетулина в бересте *Betula pendula***

Источник варьирования	ss	df	ms	F _{факт.}	F _{табл.} при P=0,05	P _A , %
Общее	264,70	41	-	-	-	-
Фактор А	83,45	2	41,72	103,97	3,47	50,75
Фактор В	119,25	6	19,88	49,53	2,57	15,34
Взаимодействие А и В	53,57	12	4,46	11,12	2,25	28,31
Случайное	8,43	21	0,40	-	-	-

Содержание суберина в бересте *Betula pendula* (табл. 3) достоверно зависит от экологических условий места произрастания деревьев ($F_{\text{факт.}}=87,90 > F_{0,05}=3,47$), диаметра деревьев ($F_{\text{факт.}}=59,22 > F_{0,05}=2,57$), взаимодействия обоих факторов ($F_{\text{факт.}}=9,11 > F_{0,05}=2,25$). Содержание суберина в бересте на 35,64 % определяется зоной отбора проб, на 26,68 % – диаметром деревьев и на 30,23 % – взаимодействием обоих факторов.

Т а б л и ц а 3

**Влияние зоны отбора проб и диаметра деревьев
на содержание суберина в бересте *Betula pendula***

Источник варьирования	ss	df	ms	F _{факт.}	F _{табл.} при P=0,05	P _A , %
Общее	377,53	41	-	-	-	-
Фактор А	100,35	2	50,17	87,90	3,47	35,64
Фактор В	202,80	6	33,80	59,22	2,57	26,68
Взаимодействие А и В	62,39	12	5,20	9,11	2,25	30,23
Случайное	11,99	21	0,57	-	-	-

Характер изменчивости содержания бетулина и суберина в насаждениях, произрастающих в промышленной и селитебной зонах г. Йошкар-Олы, описан следующими уравнениями:

- в промышленной зоне:

для бетулина:

$$C_{\text{бет}}=0,240 \cdot D^{1,437} \cdot \exp(-0,044 \cdot D)+9,149 \quad (R^2 = 0,53) \quad (1)$$

для суберина:

$$C_{\text{суб}}=0,227 \cdot D^{2,010} \cdot \exp(-0,078 \cdot D)-3,428 \quad (R^2 = 0,76) \quad (2)$$

- в селитебной зоне:

для бетулина:

$$C_{\text{бет}}=0,400 \cdot D^{1,946} \cdot \exp(-0,093 \cdot D)-3,615 \quad (R^2 = 0,89) \quad (3)$$

для суберина:

$$C_{\text{суб}}=0,321 \cdot D^{1,938} \cdot \exp(-0,091 \cdot D)+0,457 \quad (R^2 = 0,77) \quad (4)$$

Значения максимальной относительной погрешности моделей 1 и 2 составляют 9,18 % и -13,29 % соответственно. Значение максимальной относительной погрешности модели 3 равно 7,53 % и модели 4 составляет – 8,26 %.

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

для бетулина:

$$C_{\text{бет}}=0,294 \cdot D^{2,064} \cdot \exp(-0,092 \cdot D)-7,711 \quad (R^2 = 0,71) \quad (5)$$

для суберина:

$$C_{\text{суб}}=0,757 \cdot D^{1,853} \cdot \exp(-0,091 \cdot D)-15,504 \quad (R^2 = 0,83) \quad (6)$$

Значения максимальной относительной погрешности моделей 5 и 6 составляют – 18,07 % и 22,53 % соответственно.

На рис. 1 представлены кривые, характеризующие изменчивость содержания бетулина в бересте в зависимости от диаметра деревьев *Betula pendula*, произрастающих в промышленной и селитебной зонах, а также для сравнения приведены данные, по содержанию бетулина в бересте деревьев, произрастающих на ПП, отнесенной к лесопарковой зоне (Л).

Наблюдаются более высокие достоверно ($F_{\text{факт.}}=8,30-126,45 > F_{\text{табл.}}=7,71$) отличающиеся значения содержания бетулина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих в зоне промышленного загрязнения по сравнению с более экологически чистыми лесопарковой и селитебной зонами.

При этом для насаждений лесопарковой и селитебной зон характерно максимальное накопление бетулина в бересте деревьев диаметром 18–24 см. При увеличении диаметра более 24 см содержание бетулина в бересте деревьев, произрастающих в лесопарковой и селитебной зонах, уменьшается, тогда как содержание бетулина в бересте деревьев промышленной зоны остается неизменным (рис. 1).

Различия значений количества бетулина в бересте деревьев, произрастающих в селитебной и лесопарковой зонах, в основном статистически значимы ($F_{\text{факт.}}=14,01-50,41 > F_{\text{табл.}}=7,71$). Однако значения содержания бетулина в бересте деревьев этих двух зон с диаметром более 30 см близки и статистически достоверно не отличаются ($F_{\text{факт.}}=0,003-7,53 < F_{\text{табл.}}=7,71$).

Наблюдаемая тенденция повышенного накопления количества бетулина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих в промышленной зоне, характеризует ответ-

ную реакцию березовых насаждений на действие стресса, вызванного жизнедеятельностью в условиях промышленного загрязнения.

Следовательно, количественное содержание бетулина в бересте представителей *Betula pendula* может применяться в качестве индикатора для оценки состояния окружающей среды под влиянием антропогенного воздействия, в том числе промышленных выбросов.

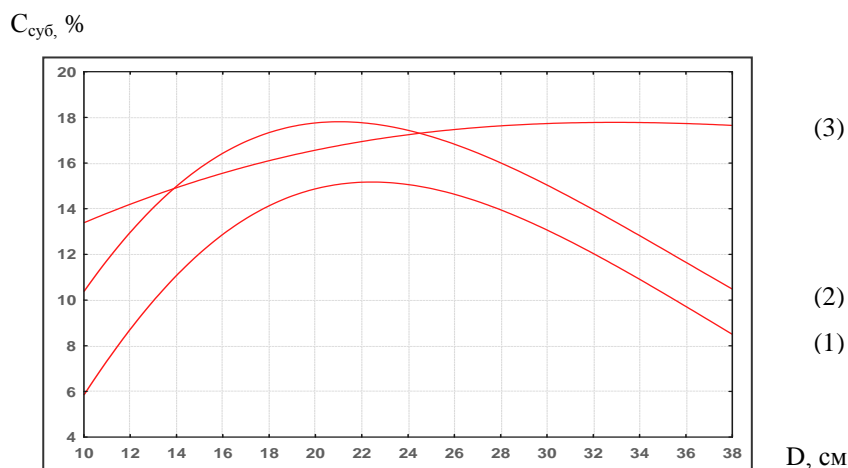


Рис. 1. Характер накопления бетулина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих на территориях различного функционального использования (1 – лесопарковая зона; 2 – селитебная зона; 3 – промышленная зона)

Кривые, характеризующие зависимость накопления суберина в бересте деревьев *Betula pendula* разного диаметра, произрастающих на территориях различного функционального использования, приведены на рис. 2.

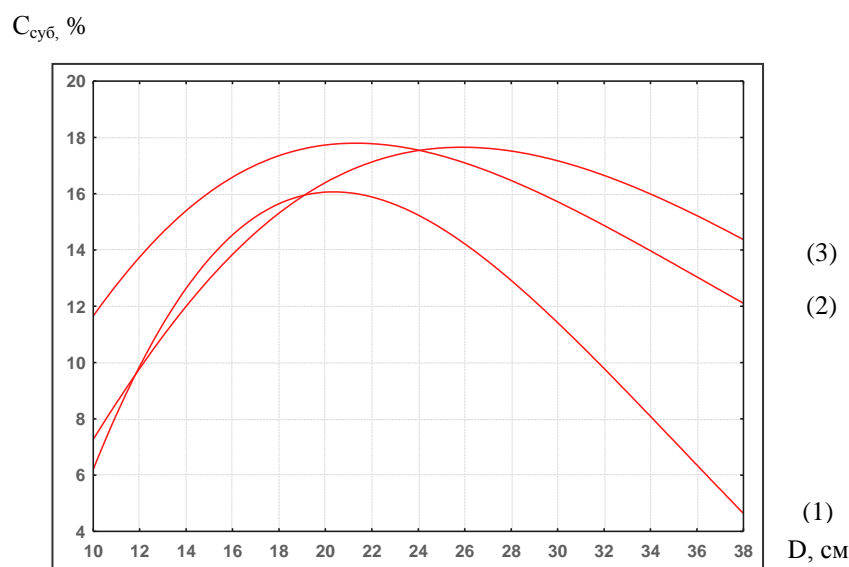


Рис. 2. Характер накопления суберина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих на территориях различного функционального использования (1 – лесопарковая зона; 2 – селитебная зона; 3 – промышленная зона)

Характер накопления суберина в бересте деревьев *Betula pendula*, произрастающих на территориях различного функционального использования, практически одинаков. В насаждениях селитебной и лесопарковой зон максимальное количество суберина отмечается в бересте деревьев с диаметром 18–24 см. При диаметре деревьев более 24 см наблюдается уменьшение содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* селитебной и лесопарковой зон. Для деревьев промышленной зоны максимум содержания суберина в бересте смещается в сторону увеличения диаметра и отмечается для деревьев диаметром 24–30 см. При диаметре более 30 см заметно уменьшение содержания суберина в бересте деревьев промышленной зоны.

Для деревьев промышленной зоны содержание суберина в бересте деревьев по сравнению с лесопарковой зоной более высокое. Различия в основном статистически значимы ($F_{\text{факт.}}=9,77-195,67 > F_{\text{табл.}}=7,71$). При сравнении количественного содержания суберина в бересте деревьев промышленной и селитебной зон выявляются близкие значения, причем различия в целом статистически недостоверны ($F_{\text{факт.}}=0,74-3,85 < F_{\text{табл.}}=7,71$). Наблюдаются более высокие значения содержания суберина в бересте деревьев *Betula pendula* селитебной зоны по сравнению с лесопарковой. Различия в целом статистически значимы ($F_{\text{факт.}}=19,05-65,42 > F_{\text{табл.}}=7,71$).

Выводы. Анализ накопления бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula* в насаждениях селитебной и лесопарковой зон показывает, что содержание изучаемых веществ зависит от воздействия антропогенного фактора.

При увеличении интенсивности загрязнения от экологически чистой лесопарковой зоны к менее подверженной загрязнению селитебной и к наиболее загрязненной промышленной зоне происходит постепенное увеличение содержания бетулина и суберина в бересте деревьев *Betula pendula*. Деревья *Betula pendula* реагируют на стресс, вызванный промышленным загрязнением, повышенным содержанием бетулина и суберина в бересте.

Следовательно, представители *Betula pendula*, испытывающие воздействие промышленных выбросов, могут применяться в качестве дендроиндикаторов оценки состояния окружающей среды.

Список литературы

1. Федоренко, С. И. Толерантность березовых древостоев северной лесостепи Зауралья к абиотическому и биотическому стрессу / С. И. Федоренко // Экология. – 2001. – № 6. – С. 466–470.
2. Воронцов, А. И. Патология леса / А. И. Воронцов. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 270 с.
3. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности. – Введ. 1973–01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – С. 27–29.
4. Селянина, Л. И. Выделение бетулина из отходов переработки березы экстракцией спиртом / Л. И. Селянина // Известия вузов. Лесной журнал. – 2004. – № 4. – С. 92–96.
5. А. с. 382657 СССР, МКИ¹ С 08h 5/04. Способ выделения бетулина и суберина / Т. И. Федорищев, В. Г. Калайков (СССР). – N1472003/23 – 4; заявл. 14.08.70; опубл. 23.05.73; Бюл. N 23. – С. 66–67.

Статья поступила в редакцию 10.12.08.

R. I. Vinokourova, I. Yu. Troshkova, A. I. Vinokourov

ASSESSMENT OF BIOINDICATIONAL FEATURES OF BETULIN AND SUBERIN IN BIRCHBARK OF WEEPING BIRCH

Content of extraneous substances of betulin and suberin in birchbark of weeping birch (Betula pendula) growing in different environments is studied. A gradual rise of betulin and suberin

*content in the birchbark of *Betula pendula* at the increase of intensity of industrial pollution is revealed. Mathematic model describing the laws of betulin and suberin content change in the plantation trees of industrial and residential town areas of Yoshkar-Ola and forest parks of Mari El depending on the diameter of the tree is suggested.*

Key words: *biological indication, weeping birch, suberin, betulin.*

ВИНОКУРОВА Раиса Ибрагимовна – доктор биологических наук, профессор МарГТУ. Область научных интересов – устойчивое природопользование, биогеохимия, экология и физиология лесных растений. Автор более 150 публикаций, в том числе пяти монографий.

ТРОШКОВА Инга Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент Московского областного государственного университета. Область научных интересов – биологические ресурсы и экология. Автор 12 публикаций.

ВИНОКУРОВ Александр Иванович – кандидат химических наук, профессор МарГТУ. Область научных интересов – экологическая химия, экология, биогеохимия. Автор более 50 публикаций.