

УДК 630\*524.634: 630\*524.1: 630\*181.351: 519.876

**СПОСОБ АНАЛИЗА ОТНОСИТЕЛЬНОГО СБЕГА КОМЛЯ БЕРЕЗЫ  
НА СКЛОНЕ ОВРАГА****Мазуркин П.М., Алгасова М.А.***Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,  
e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Научно-техническое решение относится к дендрометрии при изучении относительного сбег комля в ходе роста и развития деревьев, преимущественно берез. Технический результат – расширение функциональных возможностей анализа по относительному сбегу комлевой части деревьев, произрастающих на склоне оврага или холма, а также повышение точности измерений березы ниже корневой шейки, начиная от стандартной высоты ствола в 1,3 м над корневой шейкой дерева до поверхности склона оврага. Береза обладает замечательным свойством стать древесным растением для дендро-экологического мониторинга из-за произрастания на нарушенных человеком земельных участках, подверженных ветровой и водной эрозии, и предотвращает развитие овражной сети. Отношения между периметрами сечений на разных уровнях по высоте комля показали наибольшую тесноту факторной связи между собой и от диаметра на высоте 1,3 м.

**Ключевые слова:** береза, комель, относительный сбег, закономерности**METHOD OF ANALYSIS OF RELATIVE ESCAPE COMLEY BIRCH  
ON THE SLOPES OF RAVINES****Mazurkin P.M., Algasova M.A.***Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, Russia, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Scientific and technical solution dendrometrii refers to the study of the relative run-out butt during the growth and development of trees, mainly birch. Technical result - enhanced functionality analysis of the relative run away the butt of trees on the slope of a hill or ravine, and increase accuracy of birch below the root collar, ranging from the standard height of the trunk at 1.3 m above the tree to the root neck surface slope gully. Birch has the remarkable property become woody plants for dendro-ecological monitoring of growth due to a disturbed man-land teaching stkah exposed to wind and water erosion, and pre-vents the development of gully network. The relationship between the perimeters of sections at different levels of height butt was shown by the greatest factor closeness between themselves and the diameter at 1.3 m.

**Keywords:** birch, butt, relative runout, patterns

Научно-техническое решение относится к дендрометрии при изучении относительного сбег комля в ходе роста и развития деревьев, преимущественно берез, и может быть использовано при фитоиндикации качества территорий и разработке мероприятий по защите земельных участков от эрозии, а также в дендроэкологическом мониторинге за развитием овражной сети с учетом изменений относительной формы комля растущих деревьев.

Известен способ анализа комля древесного ствола по патенту № 2254707 [4], включающий разметку ствола на секции кратной или некратной длины в зависимости от расположения неровностей ствола с измерением расстояний от корневой шейки, секции некратной длины размечают на неровностях комлевой части, по крайней мере, дважды в трех точках неровности, а измерения вдоль и поперек ствола по секциям выполняют гибкой мерной лентой, причем поперек ствола измеряют гибкой мерной лентой периметр сечения ствола.

Недостатком является то, что измерения выполняют у деревьев, растущих на ровной местности. При этом известный способ не позволяет учитывать влияние периметров комля ниже корневой шейки деревьев. При-

чем березы могут произрастать на склоне оврага, сильно изменяя высоту корневой шейки от точки склона по середине ствола.

Известен также способ анализа комля растущего дерева для определения поперечного профиля оврага по патенту № 2416193 РФ [5], характеризующийся тем, что поперек оврага выбирают пробную полосу леса с расположенными вдоль нее деревьями, измеряют расстояния и общий угол склона в поперечном сечении оврага между серединами диаметров корневой шейки смежных вдоль пробной полосы деревьев.

Недостатком также является отсутствие измерений периметра комлевой части дерева ниже корневой шейки, что не позволяет изучать влияние склона оврага или холма на комлеву часть, начиная на стволе от высоты 1,3 м над корневой шейкой до поверхности почвы на склоне оврага или холма.

Кроме того, в дендрометрии до сих пор не выделены те лимитирующие факторы комля, которые влияют на параметры места произрастания дерева.

Технический результат – расширение функциональных возможностей анализа по относительному сбегу комлевой части деревьев, произрастающих на склоне оврага или холма, а также повыше-

ние точности измерений березы ниже корневой шейки, начиная от стандартной высоты ствола в 1,3 м над корневой шейкой дерева до поверхности склона оврага.

Сущность технического решения заключается в том, что наиболее часто на склонах оврагов в лесостепной зоне России произрастают березы естественного происхождения. Они закрепляют овраги от водной эрозии, и происходит симбиоз между березняком и почвой на склоне оврага: березы своими корнями защищают почву от смыва, а почва наращивает свою плодородие, позволяя расти березам продуктивно без потери питательных веществ. Такой симбиоз приводит к относительному изменению поперечных сечений комля деревьев.

Сущность технического решения заключается также в том, что береза обладает замечательным свойством стать древесным растением для дендрэкологического мониторинга [1-3] из-за повсеместного произрастания на нарушенных человеком земельных участках, подверженных ветровой и водной эрозии, и предотвращает развитие овражной сети.

Сущность технического решения заключается также и в том, что в некоторых природно-антропогенных условиях частично восстанавливается и полноводность и регулярность водотока в течение года на дне оврага.

Сущность технического решения заключается также и в том, что отношения между периметрами сечений на разных уровнях по высоте комля показали наибольшую тесноту факторной связи между собой и от стандартного диаметра на высоте 1,3 м.

Положительный эффект достигается выявлением закономерностей по трем относительным показателям:  $P_{1,3}/D_{1,3}$  – коэффициент формы поперечного сечения ствола дерева на стандартной высоте 1,3 м;  $P_{кш}/P_{1,3}$  – относительный сбеги поперечного сечения ствола дерева от корневой шейки до стандартной высоты 1,3 м, то есть коэффициент закомелистости ствола дерева;  $P_h/P_{1,3}$  – относительный сбеги комля дерева от сечения на высоте комля до стандартной высоты над корневой шейкой дерева.

Эти показатели позволяют проводить экологический мониторинг за состоянием и развитием изучаемого березняка, что показано на фигурах 1-7.

На рис. 1 приняты следующие условные обозначения:  $\varphi$  – угол местного склона в месте произрастания дерева березы, град;  $D_{1,3}$ ,  $P_{1,3}$  – диаметр и периметр ствола на высоте 1,3 м от корневой шейки;  $P_{кш}$  – периметр сечения ствола на корневой шейке, см;  $0,5 P_3$  –

половина периметра комля над точкой пересечения поверхности почвы с вертикальной осевой линией комля, см;  $h$  – высота комля от корневой шейки до точки пересечения поверхности почвы с вертикальной осевой линией комля, см;  $h_{max}$  – максимальная высота комля от корневой шейки до нижней точки пересечения поверхности почвы с боковой линией комля, см.

Способ анализа относительного сбега комля выполняется следующими действиями.

Вначале выбирают пробную площадь и на ней не менее 30 учетных деревьев одной породы, например, березы.

При этом пробная площадь может быть заложена на любой неровной и холмистой местности, а также на склонах оврагов, террас или берегов.

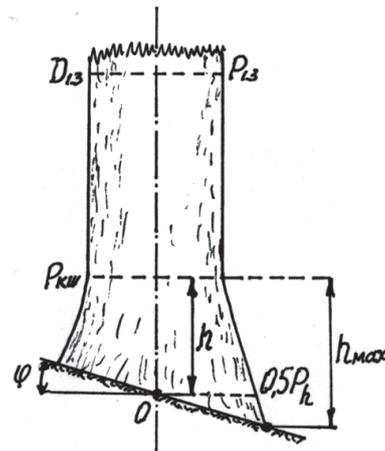


Рис. 1. Схема измерения параметров комля

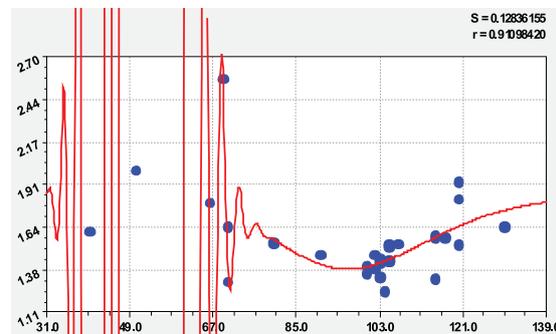


Рис. 2. График влияния максимальной высоты комля  $h_{max}$  на относительный сбеги комля  $P_h/P_{1,3}$

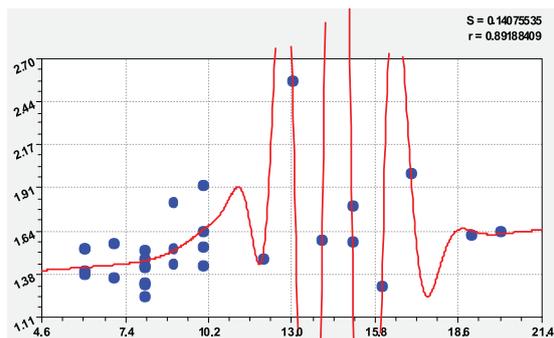


Рис. 3. Влияние высоты кроны  $H_{кр}$  на относительный сбеж  $P_h/P_{1.3}$

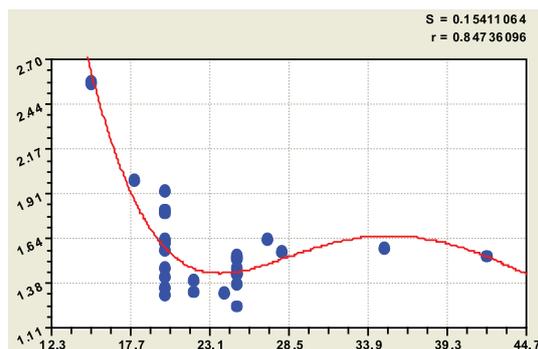


Рис. 4. Влияние диаметра ствола  $D_{1.3}$  на показатель  $P_h/P_{1.3}$

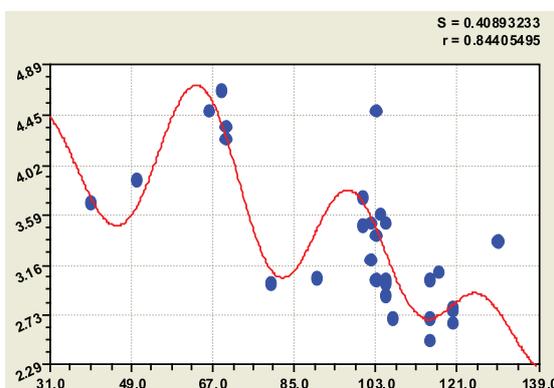


Рис. 5. Влияние максимальной высоты кроны  $h_{max}$  на показатель  $P_{1.3}/D_{1.3}$

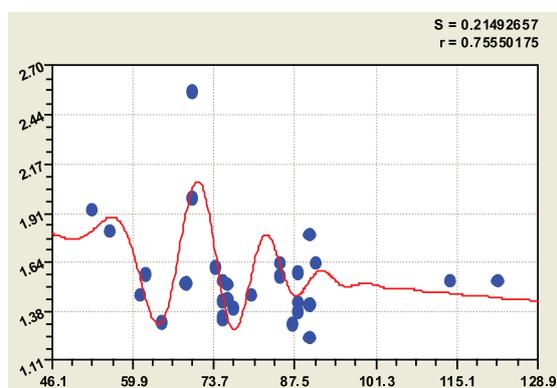


Рис. 6. Влияние периметра ствола  $P_{1.3}$  на показатель  $P_h/P_{1.3}$

У каждого учетного дерева на стандартной высоте 1,3 м измеряют диаметр и одновременно периметр поперечного сечения ствола.

Комель принимают в виде симметричной геометрической фигуры, расположенной вдоль вертикальной оси ствола учетного дерева. Высоту комля у каждого учетного дерева измеряют от поперечного сечения комля на корневой шейке до точки пересечения вертикальной оси с поверхностью почвы.

Затем от этой точки до периферии комля на нижней стороне по склону измеряют полупериметр нижнего поперечного сечения комля. После этого с учетом местного угла склона у каждого учетного дерева дополнительно измеряют максимальную высоту комля от корневой шейки ствола до поверхности почвы на нижней стороне по склону. А по множеству измеренных берез выполняют расчеты относительных показателей и проводят статистическое моделирование идентификацией многочленной однофакторной математической модели.

При необходимости у учетного дерева измеряют также периметр поперечного сечения начала комля на корневой шейке ствола учетного дерева.

От точки пересечения вертикальной оси с поверхностью почвы до периферии комля на нижней стороне по склону полупериметр поперечного сечения комля измеряют гибкой мерной лентой. Причем измерения проводят между двумя точками пересечения линии вдоль склона оврага, проходящей через точку пересечения вертикальной оси ствола учетного дерева с поверхностью почвы.

По множеству измеренных берез выполняют расчеты следующих относительных показателей по формулам:

$P_{1.3}/D_{1.3}$  – коэффициент формы поперечного сечения ствола дерева на стандартной высоте 1,3 м;

$P_{кш}/P_{1.3}$  – относительный сбеж ствола дерева от корневой шейки до стандартной высоты 1,3 м, то есть коэффициент закомелости ствола дерева;

$P_h/P_{1.3}$  – относительный сбеж комля дерева от сечения на высоте комля до стан-

дартной высоты над корневой шейкой дерева.

По измеренным данным выполняют частный факторный анализ влияния измеренных параметров учетных деревьев на отношения между периметрами поперечных сечений комля.

**Пример.** Для снижения линейной эрозии почвы оврагами применяют растения. Цель исследования – изучение формы комля деревьев, растущих в овраге, для выявления закономерностей взаимодействия между древесными растениями и склоном.

Объектами исследования были выбраны березы на склоне лесного оврага около деревни Ямолино Горномарийского района Республики Марий Эл. Эксперименты

были проведены летом 2011 года (табл. 1) на 30 березах.

Измерения комля дерева выполняется следующим образом (рис. 1).

Сначала определили участок оврага по методике, изложенной в патенте № 2416193 РФ по прототипу, на склоне которого растут деревья. Выбрали учетные деревья для измерений в количестве 30 штук. Для измерений применяли гибкую мерную ленту и транспортир с отвесом. В ходе моделирования идентификацией устойчивых законов было выявлено, что дерево № 6 имеет резко выделяющееся значение угла местного склона. В дальнейшем это наблюдение исключили из статистической выборки.

Таблица 1  
 Параметры деревьев и периметры сечения комля с их отношениями

№ п/п	$D_{1.3}$ , см	$h$ , см	$h_{max}$ , см	$H_{кр}$ , м	$H$ , м	Периметр сечения, см			$P_{1.3} / D_{1.3}$	$P_{кш} / P_{1.3}$	$P_h / P_{1.3}$
						$P_{1.3}$	$P_{кш}$	$0,5 P_h$			
1	20	81	70	20	25	85	87	70	4.25	1.024	1.647
2	20	64	66	15	24	90	95	81	4.50	1.056	1.800
3	15	60	69	13	19	70	75	90	4.67	1.071	2.571
4	18	35	50	17	24	70	80	70	3.89	1.143	2.000
5	20	36	40	19	25	74	79	60	3.70	1.068	1.622
7	20	40	70	16	20	87	90	57	4.35	1.034	1.310
8	25	48	80	10	16	75	85	58	3.00	1.133	1.547
9	20	36	90	12	20	61	71	45	3.05	1.164	1.475
10	35	40	115	14	25	88	110	70	2.51	1.250	1.591
11	20	40	120	9	18	56	72	51	2.80	1.286	1.821
12	24	41	115	8	15	65	67	43	2.71	1.031	1.323
13	20	35	120	10	20	53	81	51	2.65	1.528	1.925
14	20	45	117	15	19	62	75	49	3.10	1.210	1.581
15	27	38	130	10	18	91	110	75	3.37	1.209	1.648
16	28	45	115	7	15	85	101	67	3.04	1.188	1.576
17	25	40	120	9	15	69	83	53	2.76	1.203	1.536
18	25	45	105	8	14	76	98	58	3.04	1.289	1.526
19	42	40	105	6	16	122	140	94	2.90	1.148	1.541
20	42	43	107	6	15	114	135	88	2.71	1.184	1.544
21	25	50	105	8	15	88	100	63	3.52	1.136	1.432
22	25	51	104	8	16	90	96	56	3.60	1.067	1.244
23	22	60	100	6	16	77	85	54	3.50	1.104	1.403
24	20	65	100	7	15	75	76	51	3.75	1.013	1.360
25	25	71	102	6	16	88	91	61	3.52	1.034	1.386
26	22	65	103	8	17	75	80	50	3.41	1.067	1.333
27	25	55	102	8	20	80	90	59	3.20	1.125	1.475
28	20	70	103	8	20	90	108	64	4.50	1.200	1.422
29	25	62	105	10	20	75	84	54	3.00	1.120	1.440
30	25	63	103	9	20	76	81	55	3.04	1.066	1.447

Примечание. Дерево № 6 исключено из-за резкого отклонения угла местного склона.

Полученные данные из табл. 1 обрабатывали в программной среде CurveExpert-1.3 по общей детерминированной модели

$$y = a_1 x^{a_2} \exp(-a_3 x^{a_4}) + a_5 x^{a_6} \exp(-a_7 x^{a_8}), \quad (1)$$

где  $y$  – показатель или зависимый фактор, в нашем примере параметры по табл. 1;  $x$  – объясняющая переменная или влияющий фактор, приведены также в табл. 1;  $a_1 \dots a_8$  – параметры модели (1), получаемые идентификацией в программной среде CurveExpert 1.38 или 1.40.

Эта двухчленная формула в каждом случае выявления закономерности была получена идентификацией устойчивых законов по табл. 2. При этом первая составляющая, как правило, показывает естественный процесс или явление, а вторая и последующие члены формулы (1) характеризуют, как правило, антропогенное влияние. Во многих случаях антропогенное влияние имеет характер колебательного возмущения.

По принципу «от простого к сложному» можно предложить (табл. 2) «кирпичики» для построения, по ходу структурно-параметрической идентификации биотехнического закона, любой статистической модели.

Таблица 2  
Математические конструкторы для построения статистической модели

Фрагменты без предыстории изучаемого явления или процесса	Фрагменты с предысторией изучаемого явления или процесса
$y = ax$ – закон линейного роста или спада (при отрицательном знаке перед правой стороной приведенной формулы)	$y = a$ – закон не влияния принятой переменной на показатель, который имеет предысторию значений
$y = ax^b$ – закон показательного роста (закон показательной гибели $y = ax^{-b}$ не является устойчивым, из-за бесконечности при нулевом значении объясняющей переменной)	$y = a \exp(\pm cx)$ – закон Лапласа (Ципфа в биологии, Парето в экономике, Мандельброта в физике) экспоненциального роста или гибели, относительно которого создан метод операторных исчислений
$y = ax^b \exp(-cx)$ – биотехнический закон в упрощенной форме	$y = a \exp(\pm cx^d)$ – закон экспоненциального роста или гибели, – по П.М. Мазурикну
$y = ax^b \exp(-cx^d)$ – биотехнический закон, предложенный проф. П.М. Мазуркиным	

В табл. 2 показаны все «нормальные» фрагменты, у которых впереди могут быть расположены оперативные константы, в виде знаков «+» или «-». Все шесть устойчивых законов распределения являются частными случаями биотехнического закона, показанного внизу табл. 2.

Далее примем правила отбора тех или иных бинарных факторных связей типа (1) для последующего математического и графического анализа.

В табл. 3 приведены интервалы изменения коэффициента корреляции при различных характеристиках связи между учетными факторами.

Таблица 3  
Уровни факторных связей по коэффициенту корреляции

Интервал коэффициента корреляции	Характер тесноты связи между переменными факторами		
	Существующая классификация	Для технических экспериментов	Уточненная шкала для комля дерева
1	сильная связь	однозначная	однозначная
0,99...1,00		сильнейшая	почти однозначная
0,95...0,99			сверхсильная
0,90...0,95			сильнейшая
0,7...0,9		сильная	сильная
0,5...0,7	слабая связь	средняя	средняя
0,3...0,5		слабоватая	слабоватая
0,1...0,3	нет связи	слабая	слабая
0,0...0,1		слабейшая	слабейшая
0		нет связи	нет связи

Как известно из классической математической статистики, грубая классификация уровней коэффициента корреляции следующая:

а) до 0,3 – нет связи между факторами (то есть можно не учитывать эти связи, хотя они в других условиях проявления могут оказаться даже сильными по факторной связи);

б) от 0,3 до 0,7 – есть связь между двумя факторами, но она считается достаточно слабой, чтобы её учитывать в практических рекомендациях;

в) выше 0,7 – имеется сильная связь между переменными факторами даже при не волновых биотехнических закономерностях.

Однако существующая шкала квантификации тесноты связи является очень грубой. Поэтому нами была предложена для технических экспериментов, в которых погрешность измерений не превышает 5%, другая шкала (третий столбец табл. 3). Но для комля деревьев пришлось ввести еще два ин-

тервала, что нами было выполнено только при моделировании распределений рядов простых чисел. Это указывает на высокий уровень проявления закономерности (1) на параметрах комля березовых деревьев.

В табл. 4 приведены результаты факторного влияния (по исходным данным из таблицы 1) на значения относительных параметров комля.

На первом месте как влияющая переменная оказалась максимальная высота комля, что указывает на высокую значимость комлевой части для жизнедеятельности всего дерева. Только на втором месте оказался стандартный диаметр на высоте 1,3 м. Как зависимый показатель на первом месте находится **коэффициент формы** поперечного сечения ствола дерева на стандартной высоте 1,3 м.

**Коэффициент коррелятивной вариации** для всего множества влияния 7 влияющих переменных на три показателя равен  $9,4074 / 21 = 0,4480$ .

Таблица 4  
Факторный анализ влияния параметров берез на относительные показатели по детерминированным биотехническим закономерностям

Параметра дерева (влияющий фактор x)	Относительные параметры комля			Сумма коэфф. корр.	Место $I_x$
	$P_{1.3} / D_{1.3}$	$P_{кш} / P_{1.3}$	$P_h / P_{1.3}$		
Угол местного склона $\varphi$ , град	<b>0,092</b>	0,200	0,288	0,5800	7
Диаметр ствола $D_{1.3}$ , см	0,661	0,134	<b>0,8474</b>	1,6424	2
Периметр ствола $P_{1.3}$ , см	0,479	0,7380	0,288	1,5050	3
Высота комля $h$ , м	0,576	0,517	0,335	1,4280	5
Максимальная высота комля $h_{max}$ , м	0,673	0,597	0,617	1,8870	1
Высота дерева березы $H$ , м	0,360	0,131	0,371	0,8620	6
Высота кроны березы $H_{кр}$ , м	0,486	0,461	0,556	1,5030	4
Сумма коэффициента корреляции	3,3270	2,7780	3,3024	9,4074	–
Место $I_y$ параметров модели	1	3	2	–	0,4480

Этот критерий (термин «коррелятивная вариация» по Ч. Дарвину) применяется при сравнении различных биологических объектов исследования, в данном случае группы из 29 берез, причем так можно сравнивать не только деревья и их группы в разных экологических условиях, но и растительные сообщества, находящиеся в разных регионах произрастания.

Поэтому факторный анализ, проведенный по показателям одного и того же объекта, имеет многогранное применение. Главное условие для факторного анализа, это добротность и достоверность исходных данных. Тогда можно ожидать хороших результатов по выявлению биотехнических закономерностей между отдельными количественными факторами.

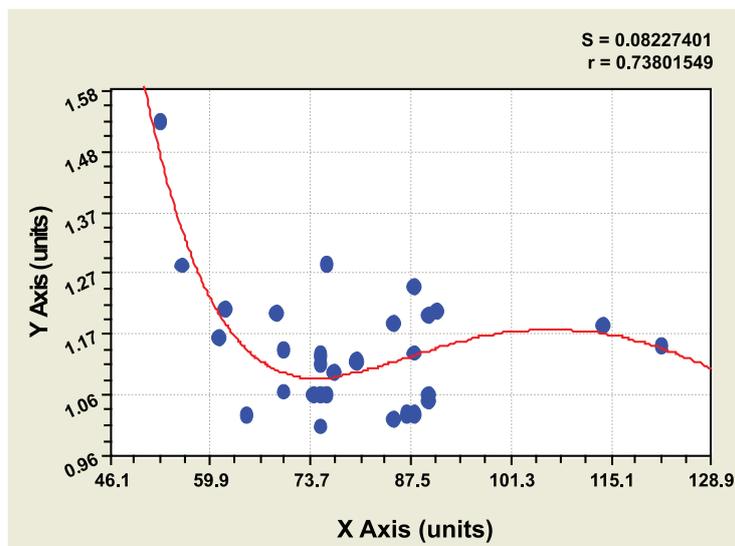


Рис. 7. Влияние периметра ствола  $P_{1,3}$  на показатель  $P_{ки} / P_{1,3}$

Из данных табл. 4 видно, что наибольшую тесноту связи с коэффициентом корреляции 0,8474 имеет влияние диаметра  $D_{1,3}$  на изменение отношения периметров  $P_{1,3} / P_{1,3}$ , то есть влияния на относительный сбег комля дерева до высоты 1,3 м над поверхностью почвы.

Таким образом, экологическая таксация деревьев коренным образом отличается от технической таксации стволов на древесину в виде кругляка.

Поэтому предлагаемый способ может быть применен в индикации не только лесных деревьев, но и фитоиндикации неровных мест произрастания древесных растений, в частности, на склонах оврагов, террас и берегов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуркин П.М. Лесоаграрная Россия и мировая динамика лесопользования. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 334 с.
2. Мазуркин П.М. Лесная аренда и рациональное лесопользование. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 524 с.
3. Мазуркин П.М. Дендрометрия. Статистическое древоведение: учеб. пос. Часть 1. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 308 с.
4. Пат. 2254704 Российская Федерация, МПК7 А 01 G 23/00, 23/02, G 01 N/46. Способ анализа комлевой части растущего дерева / Мазуркин П.М., Михайлова Т.Ф. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. – № 2004105917/12; заявл. 27.02.04; опубл. 27.06.05, Бюл. № 18.
5. Пат. 2416193 Российская Федерация, МПК А 01 G 23 / 00 (2006.01). Способ проведения измерений для определения профиля лесного оврага / Мазуркин П.М., Колесников И.П. (РФ); заяв. и патентообл. – МарГТУ. 2009133871/21; заявл. 09.09.2009; опубл. 20.04.2011.