

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

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМЫ КОМЛЯ ДЕРЕВА БЕРЕЗЫ

Мазуркин П.М., Алгасова М.А.

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: kaf_po@mail.ru

Впервые измерения проводят ниже корневой шейки ствола растущего дерева по форме боковой линии при переходе от ствола к корням. Научная новизна заключается в том, что впервые получена математическая закономерность влияния максимальной высоты комля. Наиболее часто на склонах оврагов в лесостепной зоне России произрастают березы. 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 мониторинг дает возможность рекомендовать экологические и климатические технологии вначале на территориях лесостепной зоны России, а затем и в степной зоне. Это повысит урожайность культур на полях около оврагов, продуктивность травы пойменных лугов на склонах оврагов.

Ключевые слова: овраг, березы, комель, высота, форма, закономерности

LAWS OF FORM COMLEY BIRCH TREE

Mazurkin P.M., Algasova M.A.

Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, Russia, e-mail: kaf_po@mail.ru

First measurements are below the root collar on the trunk of a growing tree form of a side line at the transition from the stem to the roots. Scientific novelty lies in the fact that the first time the mathematical regularities of the maximum height of the butt end. Most often on the slopes of ravines in the forest-steppe zone of Russia grow birch. They se-cured from water erosion gullies, and there is a symbiosis between the birch and the soil on the slope of the ravine: Birch its roots protect the soil from runoff and the soil capacity-schivaet their fertility, enabling birches grow efficiently without loss of nutrients. Such monitoring allows you to recommend environmental and climatic technology initially in areas of forest-steppe zone of Russia, and later in the steppe zone. This will increase the productivity of crops in the fields near the ravine, the productivity of the grass floodplain meadows on the slopes of ravines.

Keywords: ravine, birch, butt, height, shape, pattern

Новизна научно-технического решения [1-5] заключается в том, что впервые измерения проводят ниже корневой шейки ствола растущего дерева по форме боковой линии при переходе от ствола к корням, что позволит в будущем подойти к поиску научно-технических решений и по изучению изменений формы корневой части дерева, а также

к изучению несимметричных форм комлей различных видов деревьев. Кроме того, научная новизна заключается в том, что впервые получена математическая закономерность влияния максимальной высоты комля берез и других параметров растущих деревьев.

На рис. 1 и 2 приведены схемы реализации способа.

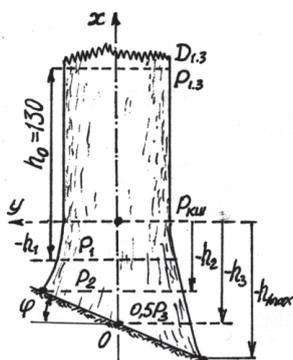


Рис. 1. Схема измерения параметров комля

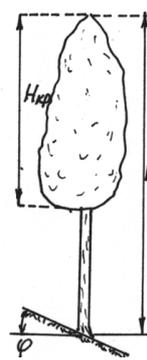


Рис. 2. Схема измерения высоты кроны и дерева

На рис. 1 и рис. 2 приведены следующие условные обозначения: φ – угол местного склона в месте произрастания дерева, град; $D_{1,3}$, $P_{1,3}$ – диаметр и периметр ствола на высоте 1,3 м от корневой шейки; $P_{ку}$ –

периметр сечения ствола на корневой шейке, см; $0,5 P_3$ – половина периметра комля березы в сечении над точкой пересечения поверхности почвы с вертикальной осевой линией комля дерева, см; h_1 – высота ком-

ля березы от корневой шейки до поверхности почвы, см; h_2 – высота комля березы от корневой шейки до верхней точки пересечения поверхности почвы с боковой линией комля, см; h_3 – высота комля от корневой шейки до центральной 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; $H, H_{кр}$ – высоты дерева и кроны, м.

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.

Таблица 1
Периметры сечения комля на разных высотах (первые 20 берез), см

№ березы	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Угол φ , град	20	18	15	15	15	20	30	20	15	15	20	20	20	15	20	20	20	20	15	
Диаметр $D_{1,3}$	20	20	15	18	20	20	25	20	35	20	24	20	20	27	28	25	25	42	42	
Периметр сечения комля	$P_{1,3}$	85	90	70	70	74	87	75	61	88	56	65	53	62	85	69	76	122	114	91
	$P_{кш}$	87	95	75	80	79	90	85	71	110	72	67	81	75	101	83	98	140	135	110
	P_1	92	81	74	85	80	105	89	75	120	77	76	88	80	105	90	101	147	145	128
	P_2	106	120	80	104	85	96	98	79	125	84	80	90	85	125	93	107	160	153	135
	P_3	140	162	180	140	120	114	116	90	140	102	86	102	98	134	106	116	188	176	150
Высота сечения комля	h_0	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
	$h_{кш}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	h_1	-19	-27	-15	-8	-6	-12	-17	-17	-12	-13	-18	-11	-13	-16	-13	-15	-16	-17	-15
	h_2	-40	-45	-24	-15	-10	-23	-30	-29	-20	-21	-28	-18	-20	-31	-21	-28	-30	-30	-22
	h_3	-81	-64	-60	-35	-36	-40	-48	-36	-40	-40	-41	-35	-45	-45	-40	-45	-40	-43	-38
Высота h_{\max}	-70	-66	-69	-50	-40	-70	-80	-90	-115	-120	-115	-120	-117	-130	-115	-120	-105	-105	-107	

Измерения формы комля (рис. 1) у дерева (рис. 2) по боковой линии поверхности комля выполняется следующим образом.

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.

Данные из таблицы 1 обрабатывали в программной среде CurveExpert-1.3 по модели

$$P = a_1 \exp(-a_2 h) + a_3, \quad (1)$$

где P – периметр поперечного сечения комля в разных местах измерения, см; h – высота от поверхности почвы до корневой шейки (в табл. 1 отрицательные значения высоты), а далее до стандартной высоты 1,3 м, см; a_2 и a_3 – параметры статистической модели (1), причем: a_1 – начальное значение периметра комля дерева, см; a_2 – активность сбегания периметра поперечного сечения комля по боковой линии симметричной формы комля; a_3 – постоянный периметр ствола (по условному цилиндру) на высотах от поверхности почвы до нуля на уровне корневой шейки и далее до 1,3 м.

В табл. 2 даны результаты идентификации модели (1).

Из табл. 2 видно, что адекватность модели (1) боковой линии нейлоидной формы комля очень высокая и по коэффициенту корреляции равна не меньше 0,8826. Максимальная теснота факторной связи равна 0,9995.

Таблица 2
 Параметры модели формы комля березы на склоне лесного оврага

№ п/п	Угол φ, град	D _{1,3} , см	P _{1,3} , см	Высота, м				Параметры (1) формы комля			Коэффициент корреляции
				h ₃	h _{max}	H	H _{кр}	a	b	c	
1	20	20	85	0,81	0,70	25	20	6,69037	0,026546	83,04457	0,9932
2	18	20	90	0,64	0,66	24	15	1,51942	0,060980	87,94076	0,9609
3	15	15	70	0,60	0,69	19	13	1,57073	0,070650	71,08551	0,9995
4	15	18	70	0,35	0,50	24	17	14,29537	0,046288	68,62046	0,9876
5	15	20	74	0,36	0,40	25	19	5,36991	0,059820	73,78199	0,9984
7	20	20	87	0,35	0,70	20	10	5,53268	0,034759	86,94283	0,8826
8	30	25	75	0,40	0,80	16	12	8,65897	0,032264	75,13772	0,9985
9	20	20	61	0,48	0,90	20	14	7,58516	0,034666	61,50150	0,9790
10	15	35	88	0,36	1,15	25	9	26,87762	0,018077	85,23958	0,9973
11	15	20	56	0,40	1,20	18	8	15,87560	0,026839	55,55888	0,9992
12	20	24	65	0,40	1,15	15	10	5,53349	0,034409	64,18781	0,9792
13	20	20	53	0,41	1,20	20	15	34,54058	0,013320	46,87999	0,9992
14	20	20	62	0,35	1,17	19	10	15,16259	0,020174	60,74845	0,9974
15	15	27	91	0,45	1,30	18	7	25,34656	0,023777	89,19265	0,9904
16	20	28	85	0,38	1,15	15	9	16,49362	0,025320	84,09267	0,9868
17	20	25	69	0,45	1,20	15	8	15,78504	0,022036	68,02200	0,9989
18	20	25	76	0,40	1,05	14	6	26,46798	0,011879	70,43326	0,9985
19	20	42	122	0,45	1,05	16	6	12,17655	0,040653	123,6581	0,9896
20	15	42	114	0,40	1,07	15	8	19,26593	0,026577	113,9366	0,9951
21	15	25	88	0,43	1,05	15	8	11,23616	0,024368	87,74433	0,9987
22	20	25	90	0,50	1,04	16	6	6,09201	0,025528	89,73489	0,9972
23	15	22	77	0,51	1,00	16	7	9,34285	0,020768	76,09297	0,9907
24	15	20	75	0,60	1,00	15	6	3,46519	0,032258	74,12755	0,9947
25	15	25	88	0,65	1,02	16	8	7,55135	0,022099	86,50699	0,9888
26	15	22	75	0,71	1,03	17	8	8,46063	0,018145	73,55011	0,9758
27	15	25	80	0,65	1,02	20	8	9,66769	0,025103	79,68765	0,9978
28	20	20	90	0,55	1,03	20	10	13,74723	0,014425	88,89935	0,9669
29	15	25	75	0,70	1,05	20	9	10,96744	0,018477	73,79080	0,9920
30	15	25	76	0,62	1,03	20	9	4,20086	0,033223	76,03804	0,9967

Общее уравнение тренда (тенденции), то есть детерминированной закономерности без учета волновых возмущений, для всех 7×3 = 21 факторных отношений имеет вид

$$y = a_1 x^{a_2} \exp(-a_3 x^{a_4}) + a_5 x^{a_6} \exp(-a_7 x^{a_8}), \quad (2)$$

где y – показатель или зависимый фактор, в нашем примере параметры формулы (1); x – объясняющая переменная или влияющий фактор; a₁... a₈ – параметры модели (2), получаемые в программной среде CurveExpert.

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 (2) характеризуют, как правило, антропогенное влияние.

В табл. 3 приведены результаты факторного влияния (по исходным данным из табл. 2) на значения параметров модели (1).

Таблица 3

Факторный анализ влияния параметров берез на параметры модели (1) по детерминированным биотехническим закономерностям

Параметра дерева (влияющий фактор x)	Параметры формы комля			Сумма коэфф. корр.	Место I_x
	a	b	c		
Угол местного склона φ , град	0,124	0,106	0,061	0,2910	7
Диаметр ствола $D_{1,3}$, см	0,367	0,652	0,7421	1,7611	1
Периметр ствола $P_{1,3}$, см	0,558	0,039	0,9951	1,5921	2
Высота при $\varphi = 0$ комля h_3 , м	0,474	0,009	0,081	0,5640	6
Высота при $\varphi > 0$ комля h_{max} , м	0,662	0,7395	0,025	1,4265	3
Высота дерева березы H , м	0,068	0,364	0,133	0,5650	5
Высота кроны березы $H_{кр}$, м	0,162	0,487	0,349	0,9980	4
Сумма коэффициента корреляции	2,4150	2,3965	2,3862	7,1977	–
Место I_x параметров модели	1	2	3	–	0,3427

На первом месте как влияющая переменная оказался диаметр на стандартной высоте, что указывает на правильность существующей в лесной таксации системы измерений лесных деревьев. Как зависимый показатель на первом месте находится первый параметр a формулы (1), то есть абсолютный сбеги комля дерева.

Коэффициент коррелятивной вариации для всего множества влияния 7 влияющих переменных на три показателя равен $7,1977 / 21 = 0,3427$.

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 местах произрастания.

Поэтому факторный анализ, проведенный по показателям одного и того же объекта исследования, имеет многогранное

применение. Главное условие – это добротность и достоверность исходных данных. Тогда можно ожидать хороших результатов по выявлению биотехнических закономерностей между отдельными количественными факторами.

Из данных табл. 3 видно, что наибольшую тесноту связи с коэффициентом корреляции 0,9951 имеет влияние периметра ствола $P_{1,3}$ (рис. 3) на изменение третьего параметра модели (1), то есть на свободного члена, имеющего размерность и смысл теоретического периметра поперечного сечения ствола дерева.

Почти предельно отсутствует факторная связь с наименьшим коэффициентом корреляции 0,009 влияния высоты комля вдоль продольной оси ствола на параметр b формулы (1), то есть на активность спада значений периметра или же на активность сбега боковой линии комля у учетных деревьев березы.

Ранее [1-5] нами была доказана волновая теория развития и роста деревьев.

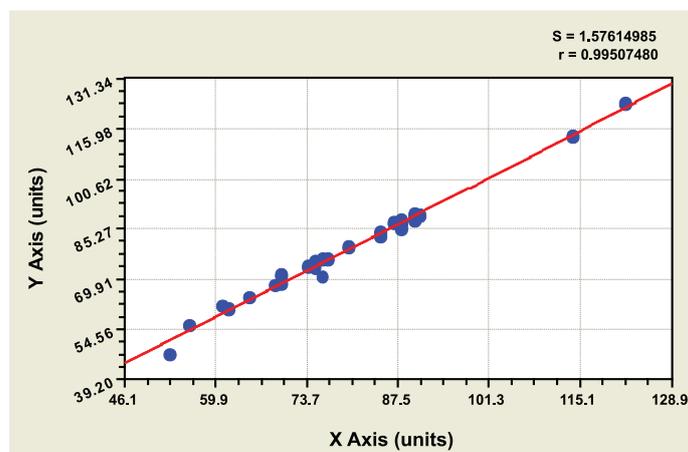


Рис. 3. Влияние периметра ствола $P_{1,3}$ на изменение третьего параметра модели (1)

Поэтому проведена идентификация общей биотехнической закономерности

$$Y = \sum_{i=1}^m Y_i,$$

$$Y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}) - a_{8i}), \quad (3)$$

где Y – показатель, в нашем примере любой из трех параметров модели (1), i – номер члена общей формулы, m – количество составляющих общей формулы, шт., x – любой из семи влияющих переменных дерева и комля березы, $a_1 \dots a_8$ – параметры одного члена формулы (4), физически представляемого как асимметричный вейвлет-сигнал с переменными амплитудой и частотой колебательного возмущения совокупности (популяции) из 29 берез.

Результаты идентификации модели (4) по статистическим данным из табл. 2 представлены в табл. 4.

При этом волновыми оказались четыре закономерности или $400 / 21 = 19,05\%$ от

общего количества биотехнических закономерностей.

Коэффициенты корреляции волновых колебательных возмущений в виде вейвлет-сигналов в таблице 4 выделены крупным полужирным шрифтом.

С учетом принципа колебательной адаптации деревьев к условиям места своего произрастания на первое место среди параметров деревьев встала максимальная высота комля березы. Остальные шесть параметров остались в той же последовательности, что было при детерминированном представлении развития и роста древесных растений.

Таблица 4

Факторный анализ влияния параметров берез на параметры модели (1) по детерминированным и волновым биотехническим закономерностям

Параметра дерева (влияющий фактор x)	Параметры формы комля			Сумма коэфф. корреляции	Место I_x
	a	b	c		
Угол местного склона φ , град	0,124	0,106	0,061	0,291	7
Диаметр ствола $D_{1,3}$, см	0,367	0,652	0,7421	1,7611	2
Периметр ствола $P_{1,3}$, см	0,558	0,039	0,9951	1,5921	3
Высота при $\varphi=0$ комля h_3 , м	0,474	0,009	0,081	0,56+4	6
Высота при $\varphi>0$ комля h_{max} , м	0,7716	0,8820	0,7444	2,3980	1
Высота дерева березы H , м	0,068	0,364	0,133	0,5650	5
Высота кроны березы $H_{кр}$, м	0,162	0,7093	0,349	1,2203	4
Сумма коэффициента корреляции	2,5246	2,7613	3,1056	8,3915	–
Место I_x параметров модели	3	2	1	–	0,3996

Коэффициент коррелятивной вариации, из-за волнового влияния максимальной высоты комля и высоты кроны дерева на формирование комля, повысился на $100(0,3996 - 0,3427) / 0,3427 = 16,55\%$.

Иерархия показателей a , b и c по сравнению с табл. 3 перевернулась и стала в новом рейтинге колебательного возмущения последовательностью c , b и a . В этом случае теоретический периметр поперечного сечения ствола на высоте 1,3 м оказывается наиболее значимым зависимым показателем. Это позволит в будущем обратить особое внимание на соотношение периметра к диаметру для выявления закономерностей изменения формы поперечного сечения ствола на стандартной высоте 1,3 м.

Таким образом, экологическая таксация деревьев коренным образом отличается от технической таксации стволов на древесину в виде кругляка. При этом модель (3) может быть доведена при моделировании по остаткам от предыдущих волновых составляющих даже ниже погрешности измерений.

Далее из табл. 4 выделим закономерности с убывающими значениями коэффициента корреляции, то есть, выполним ранжирование полученных биотехнических закономерностей по ухудшению их адекватности. В табл. 5 были оставлены только сильные связи, то есть закономерности с коэффициентами корреляции свыше 0,7. В итоге доля сильных факторных связей оказалось равной $100 \times 6 / 21 = 28,57\%$.

Таблица 5

Сильные факторные связи влияния параметров берез на параметры модели (1)

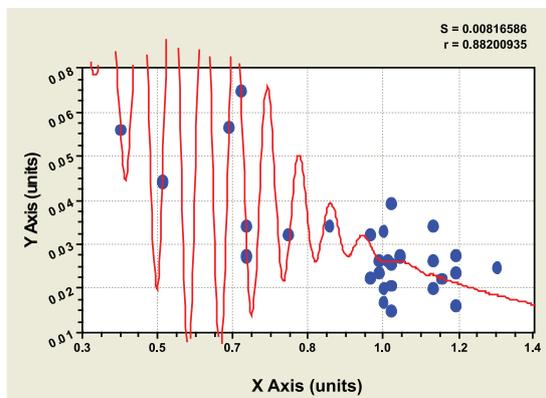
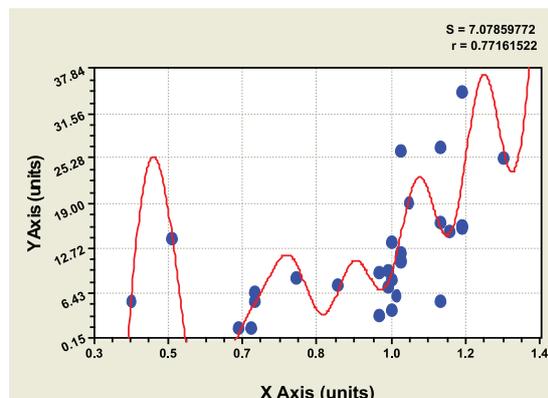
Параметра дерева (влияющий фактор x)	Параметры формы комля		
	a	b	c
Диаметр ствола $D_{1,3}$, см			0,7421
Периметр ствола $P_{1,3}$, см			0,9951
Высота при $\varphi > 0$ комля h_{\max} , м	0,7716	0,8820	0,7444
Высота кроны березы $H_{\text{кр}}$, м		0,7093	

Из семи параметров деревьев березы три остаются только шесть закономерностей, выпадают при уровне адекватности с коэффициентом корреляции выше 0,7. В итоге которые приведем полностью в табл. 6 по убыванию их адекватности.

Таблица 6

Параметры общего уравнения (4) для сильных факторных связей

Номер i	Вейвлет-сигнал $Y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$							
	амплитуда колебания				полупериод колебания			сдвиг
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}
Влияние периметра ствола $P_{1,3}$ на параметр c (рис. 3), коэффициент корреляции 0,9951								
1	0,81164	1,04444	0	0	0	0	0	0
Влияние высоты комля h_{\max} на параметр b (рис. 4), коэффициент корреляции 0,8820								
1	0,12751	0	1,51799	1,19775	0	0	0	0
2	-2,83740	15,61329	27,78498	1	0,038069	0,00014894	27,30161	2,39313
Влияние высоты комля h_{\max} на параметр a (рис. 5), коэффициент корреляции 0,7716								
1	0,010269	0	-7,05156	0,50604	0	0	0	0
2	-0,21501	0	-2,99769	1	-3,17374	3,24198	0,0024367	2,50904
3	240,27165	0	5,036881	1	0,11780	0,025113	1,95649	5,43455
Влияние высоты комля h_{\max} на параметр c (рис. 6), коэффициент корреляции 0,7444								
1	73,37379	0	-0,049923	0,40903	0	0	0	0
2	-4742,0259	2,57229	5,49302	0,0074645	0,66005	-0,29744	1,49662	-5,14666
Влияние диаметра ствола $D_{1,3}$ на параметр c (рис. 7), коэффициент корреляции 0,7421								
1	46,33420	0	-0,021440	1	0	0	0	0
Влияние высоты кроны $H_{\text{кр}}$ на параметр b (рис. 8), коэффициент корреляции 0,7093								
1	0,013306	0	-0,17573	0,70463	0	0	0	0
2	0,0021097	0	-0,17164	0,91488	7,44397	-0,15644	1,06891	-4,50361

Рис. 4. Влияние высоты комля на параметр b Рис. 5. Влияние высоты комля h_{\max} на параметр a

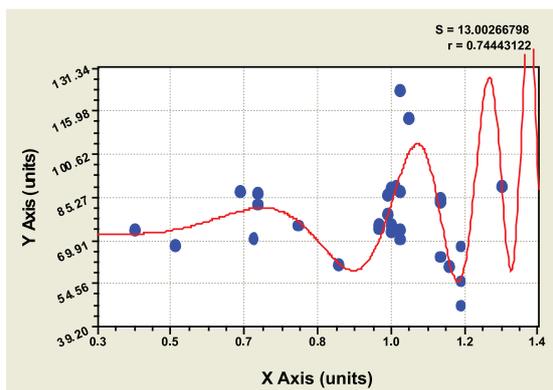


Рис. 6. Влияние высоты комля h_{\max} на параметр c

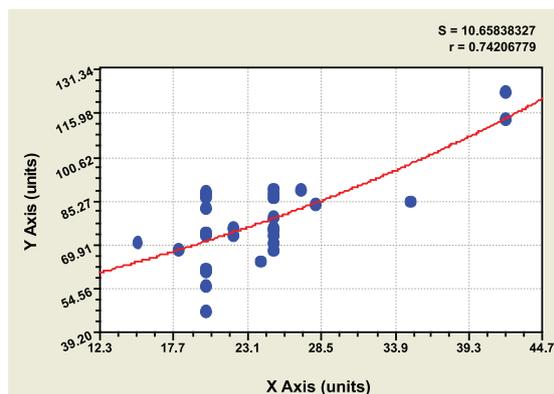


Рис. 7. Влияние диаметра ствола $D_{1.3}$ на параметр c

Высокий уровень адекватности формы комля у всех 29 берез позволяет повести дальше полный факторный анализ параметров модели (1).

Для идентификации была применена общая формула (3).

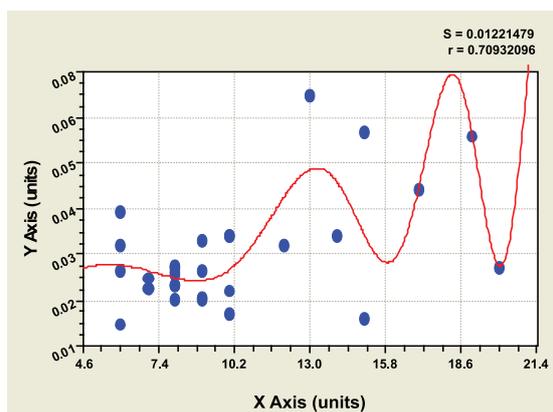


Рис. 8. Влияние высоты кроны $H_{кр}$ на параметр b

Таким образом, предлагаемое техническое решение основано на результатах фундаментальных исследований влияния высоты поперечных сечений ствола и комля дерева на периметр этих сечений, а также влияния параметров комлевой части и высоты кроны лесных деревьев, произрастающих как единая популяция и как микро геотехническая система, десятилетиями на склоне оврага.

Оказалось, что угол местного склона почти не влияет на изучаемые показатели.

При этом измерения по предлагаемому способу просты в исполнении и наглядны

для школьников при изучении деревьев в экологических кружках.

Поэтому предлагаемый способ измерения и анализа комля растущих на ровной местности или же на склонах оврагов, холмов, террас и берегов водных объектов может быть применен в индикации не только рельефа, но и фитоиндикации отдельных мест произрастания древесных растений на пробных площадях. Минимальное количество учетных деревьев определяется возможностью идентификации биотехнических закономерностей с волновыми составляющими и должно быть не менее 30 особей одного вида.

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); заявитель и патентообладатель МарГТУ. 2009133871/21; заявл. 09.09.2009; опубл. 20.04.2011.