

## **Методика расчета габитусных параметров деревьев с использованием фотоаппарата и дальномера**

### **Введение**

В процессе научных исследований в области биологии, ботаники, дендрологии, таксации, ландшафтной архитектуры часто возникает необходимость натурных измерений биометрических параметров деревьев и кустарников. К таким параметрам можно отнести не только высоту дерева, но и радиус и высоту начала кроны. Существуют различные приборы позволяющие проводить измерения этих параметров. В данной статье рассматривается альтернативный метод измерения размеров дерева и кроны по фотографии, а также дается оценка его преимуществ и недостатков.

### **Существующие подходы к измерению параметров дерева**

Биометрические параметры дерева можно измерить различными способами, которые отличаются между собой трудозатратами, погрешностью и стоимостью необходимых инструментов. Рассмотрим основные из них.

*Электронный тахеометр* это геодезический прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности и расстояний при помощи встроенного дальномера. Данные съёмки, полученные в полевых условиях, можно обработать на компьютере с использованием специальных геодезических программ. Не смотря на то, что используя тахеометр, получаются очень точные результаты, у него есть ряд недостатков: дорогое оборудование, немалый вес, который приходится носить с собой, необходимость использования треноги, необходимость работать вдвоем.

*Портативные высотомеры.* Не смотря на то, что они просты в использовании, легки и умещаются в карман, им присущ ряд

эксплуатационных недостатков. Невозможно измерить радиусы кроны дерева, так как они работают только в вертикальной плоскости. При наведении на вершину дерева не возможно достаточно четко зафиксировать прибор. Для вычисления высоты дерева высотомером необходимо знать расстояние до объекта, поэтому необходимо носить с собой дальномер или рулетку.

Существуют ультразвуковые высотомеры со встроенным дальномером, но их дальность действия составляет около 30 метров, точность измерения – 0,1 м, точность измерения углов –  $0,1^\circ$ , но им также нельзя провести измерения параметров кроны.

При работе с безбазисным высотомером не требуется проводить измерение расстояния от наблюдателя до дерева, и в этом его преимущество. Недостатком же его следует считать трудность одновременного визирования на три точки, так как малейшее дрожание руки сказывается на точности обмера. Погрешность при измерениях этим высотомером составляет  $\pm 6\%$ .

При измерениях механическим высотомером точность составляет 0,25 м ÷ 0,5 м - различные значения представлены для разных моделей. Общим недостатком всех высотомеров является то, что ни один из них не позволяет произвести измерения параметров кроны в ширину на разных высотах.

Предлагаемая в данной статье методика предполагает наличие также двух приборов небольшого размера: цифрового фотоаппарата и дальномера или рулетки. К достоинствам метода можно отнести возможность производить съемку объекта одному человеку, возможность измерения радиусов кроны на любых высотах, относительную экономичность и удобство метода, а также довольно высокую точность. К недостаткам методики можно отнести необходимость выбора подходящего местоположения для съемки.

## Необходимые подготовительные измерения

На подготовительном этапе необходимо определить угол обзора камеры  $U_k$ . Причем, это можно сделать как до съемки объектов исследования, так и после нее. Данный параметр у каждой модели камеры может быть своим. Вероятно, для каких-то моделей фотоаппаратов он дан в характеристиках, но если этих данных нет, как оказалось в нашем случае - угол обзора можно вычислить в домашних условиях. Для этого необходимо сфотографировать рулетку таким образом, чтобы в кадре не было видно ни начала, ни конца шкалы (рис. 1). Далее измерить расстояние от объектива до рулетки ( $b$ ). Чтобы найти параметр  $a$  – необходимо определить, какое расстояние по рулетке ( $R$ ) у нас вместились в кадр. Используя формулу  $U_k = 2 \cdot \arctg(a/b)$ , где  $a = R/2$ , вычислить угол  $U_k$  (см. рис.1) Требованием к съемке является необходимость перпендикулярного позиционирования оси камеры к фотографируемой рулетке.

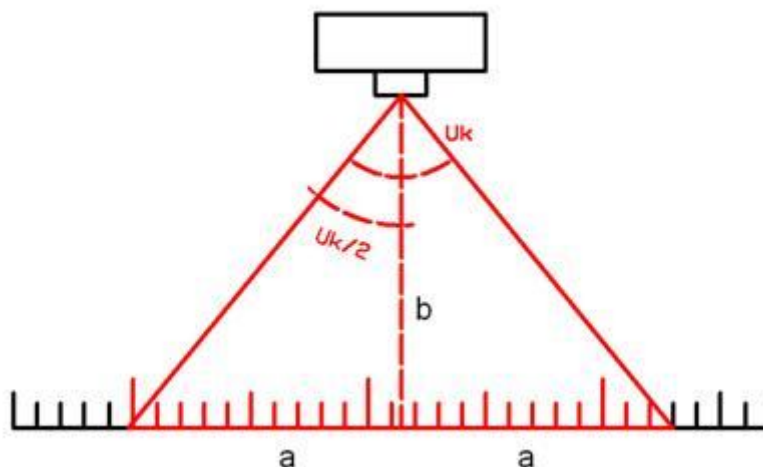


Рисунок 1 - Схема определения угла обзора камеры

## Натурные измерения и требования к ним

При фотографировании объекта съемки (дерева) необходимо соблюдать следующие условия:

- уровень положения ног фотографа и основания дерева должны совпадать. Конечно, без специальных геодезических приборов точность этого условия невозможно соблюсти. Но для получения наиболее точных результатов нужно к этому стремиться. В случае, когда уровень положения ног фотографа выше или ниже уровня основания объекта съемки, то появляется ошибка вычисления параметров объекта. Исследование этой ошибки будет дано ниже.

- объект съемки должен находиться по центру кадра относительно вертикальной оси.

- измерение расстояния до объекта должно производиться по линии съемки. Для измерения можно использовать дальномер, рулетку или любой другой прибор для измерения расстояния.

- необходимо измерить высоту положения камеры. В основном высота положения камеры будет равна высоте положения глаз фотографа.

### **Правила обработки фотографий**

Для обработки фотографий можно использовать различные программы для работы с растровыми изображениями. Необходимо найти центр кадра и от этой точки определить количество пикселей до вершины дерева ( $V_{dp}$ ) и до его основания ( $N_{dp}$ ).

### **Алгоритм расчета биометрических параметров дерева**

#### ***Описание входных параметров***

Перед тем, как непосредственно приступить к описанию алгоритма расчета параметров объекта, необходимо уточнить данные, которые нам известны, или, другими словами, сказать об известных входных данных.

$L$  – расстояние до объекта (метры)

$hg$  – высота расположения камеры (метры)

$U_k$  – угол обзора камеры (градусы)

$K_p$  – разрешение снимка (пиксели)

В результате обработки (или работы с фотографией) мы получаем следующие параметры, необходимые для выполнения вычислений. Правила (требования) к обработке фотографии были даны выше.

$N_{dp}$  – количество пикселей по фотографии от центра снимка до основания объекта (дерева)

$V_{dp}$  – количество пикселей на снимке от центра фотографии до вершины объекта.

Имея все описанные выше значения можно приступить к описанию расчета параметров объекта.

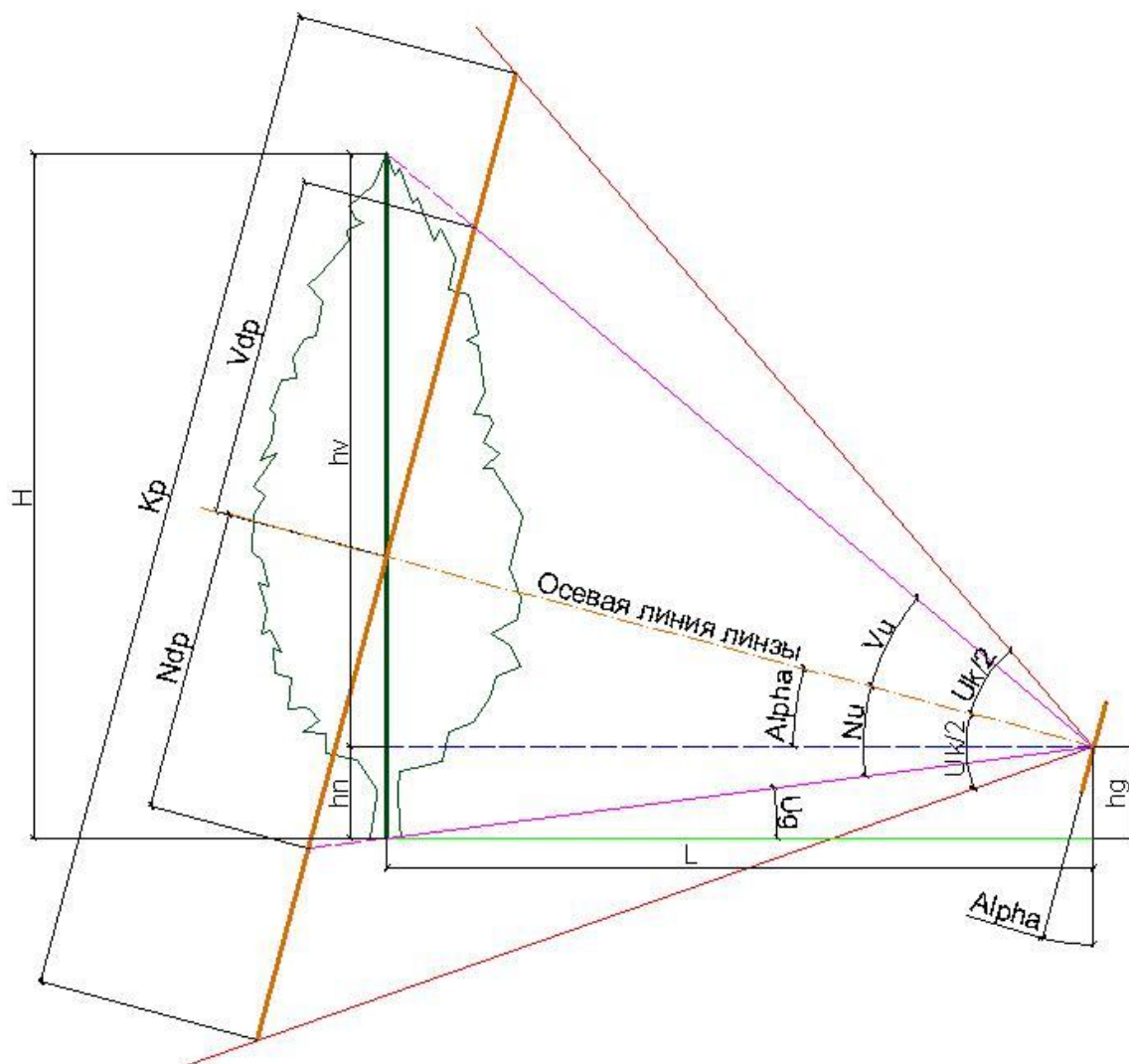


Рисунок 2 - Схема методики расчета высоты дерева

### **Этапы вычисления высоты дерева**

- определить угол  $U_g$ :

$$U_g = \arctg(h_g/L)$$

- найти угол от оси камеры до вершины дерева ( $V_u$ ):

$$V_u = \arctg ((V_{dp} * \tg(U_k/2)) / (K_p/2))$$

Этот угол находится по двум треугольникам с общей стороной, которая является осевой линией линзы, с учетом того, что известен угол обзора камеры  $U_k$ .

- найти угол от оси камеры до основания дерева ( $N_u$ ):

$$N_u = \arctg ((N_{dp} * \tg(U_k/2)) / (K_p/2))$$

-вычислить угол  $\alpha$  – угол между осевой линией линзы и кратчайшим расстоянием от камеры до дерева (угол наклона камеры):

$$\alpha = N_u - U_g$$

Угол  $\alpha$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

Определив угол наклона камеры можно приступить к вычислению высоты дерева  $H$ . Она складывается из двух составляющих:  $h_v$  и  $h_n$ .

$h_n$  равно уровню положения камеры ( $h_g$ ), а это известная величина. А  $h_v$  – это высота от уровня положения камеры до вершины дерева, она вычисляется по формуле:

$$h_v = L * \tg(V_u + \alpha),$$

соответственно,

$$H = h_n + h_v.$$

### **Этапы вычисления радиусов кроны дерева**

Для наиболее точного определения параметров дерева необходимо измерить крону на различных уровнях по высоте или в характерных точках изгиба линии кроны.

Диаметр кроны дерева  $D$  вычисляется по пропорции относительно найденной высоты дерева  $H$ . Для определения ширины кроны справа  $R_R$  и слева  $R_L$  от ствола, в случае если крона ассиметрична, измеряется количество пикселей, занимаемых кроной, соответственно справа  $R_{LP}$  и слева  $R_{LP}$  от ствола.

$$R_R = (H * R_{RP}) / (N_{dp} + V_{dp}),$$

$$R_L = (H * R_{LP}) / (N_{dp} + V_{dp}),$$

соответственно диаметр кроны вычисляется по формуле:

$$D = R_R + R_L.$$

### Исследование алгоритма на натурных измерениях

Для проверки предлагаемого метода вычислений была произведена съемка нескольких объектов и произведены замеры рассчитываемых параметров с помощью лазерного дальномера. Были сфотографированы и измерены такие объекты как фонарный столб, колонны, здания. Эти объекты были выбраны для вычисления ошибки использования данного метода т.к. их реальную высоту можно было достаточно точно определить. Результаты вычислений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка ошибки метода

Объект	Расстояния $L$ , м	Высота по фото, м	Высота эталонная, м	Ошибка	
				Значение, м	%
Подстанция	5,47	2,963225	2,94	-0,023225	-0,78997
Колонна	6,252	4,06521	4,07	0,00479	0,11769
Колонна кирпичная	9,645	4,111843	4,135	0,023157	0,560024
Колонна кирпичная	7,895	4,172465	4,142	-0,030465	-0,73551
Колонна кирпичная	14,355	4,171658	4,142	-0,029658	-0,71603
Здание 1 ниж. козырек	38,8	8,195734	8,148	-0,047734	-0,58584
Здание 1 ниж. козырек (фото	22,037	8,241966	8,148	-0,093966	-1,15324

вблизи)					
Столб фонарный	18,977	10,185396	10,049	-0,136396	-1,35731
Здание 1 вер. козырек	38,972	18,292434	18,608	0,315566	1,695862
Здание 1 вер. козырек (фото вблизи)	22,246	18,677464	18,608	-0,069464	-0,3733
Здание 2 (фото 1)	31,207	25,249555	25,307	0,057445	0,226993
Здание 2 (фото 2)	45,266	24,853836	25,307	0,453164	1,790667
<b>Средняя ошибка = <math>\pm 0,109997\%</math></b>					

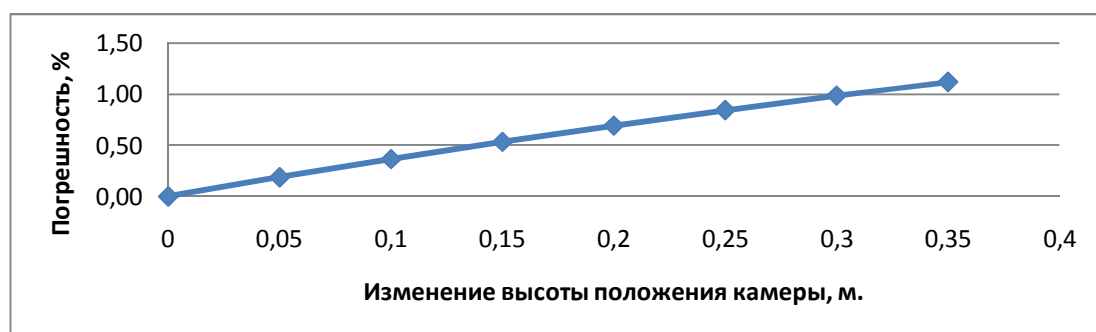
Представленные результаты свидетельствуют о достаточно точном вычислении параметров по фотографии. Разброс ошибок на исследованных объектах не превышает  $\pm 2\%$ . Ошибка возникает из-за того, что без специальных предварительных измерений невозможно определить превышение основания объекта съемки над уровнем ног фотографа, а следовательно и уровня положения камеры, то есть, другими словами, при определении уровня положения камеры будет допущена ошибка (Таблица 2).

Таблица 2. Разброс ошибки вычисления высоты дерева в зависимости от высоты положения камеры  $H_g$

$\Delta$ Высоты положения камеры, м	Отклонение, м	Погрешность, %
-0,35	0,064918	1,57
-0,3	0,054452	1,31
-0,25	0,044390	1,07
-0,2	0,034727	0,84
-0,15	0,025461	0,61
-0,1	0,016587	0,40
-0,05	0,008101	0,20
0	0,000000	0,00
0,05	-0,007721	-0,19
0,1	-0,015064	-0,36
0,15	-0,022035	-0,53



0,2	-0,028636	-0,69
0,25	-0,034871	-0,84
0,3	-0,040743	-0,98
0,35	-0,046256	-1,12



**Рисунок 3 - Зависимость погрешности расчетов высоты дерева от высоты положения камеры**

Для расчета ошибки, которую дает высота положения камеры, высота дерева, измеренная по фотографии, была принята за эталонную величину. Получилось, что при разбросе в 35 см в каждую сторону ошибка составляет менее 2 %. Разброс небольшой, но нельзя пренебрегать точностью измерения этого параметра, так как при измерении расстояния до объекта могут быть допущены ошибки, которые в свою очередь, оказывают более существенное влияние на точность измерений.

Лазерный дальномер, которым были измерены контрольные расстояния, имеет погрешность в 1.5 мм. Это ничтожно малая величина, которая практически не влияет на ошибку метода. Но, интересно посмотреть, как расстояние от камеры до объекта влияет на точность метода. Данные приведены в таблице 3.

**Таблица 3. Разброс ошибки высоты дерева в зависимости от расстояния от камеры до дерева L**

Расстояние, м	Отклонение, м	Погрешность, %
-0,3	-0,568656	-13,73
-0,25	-0,406444	-9,81
-0,2	-0,271098	-6,55
-0,15	-0,162720	-3,93
-0,1	-0,081382	-1,96
-0,05	-0,027132	-0,66

0	0,000000	0,00
0,05	0,027137	0,66
0,1	0,081424	1,97
0,15	0,162887	3,93
0,2	0,271562	6,56
0,25	0,407493	9,84
0,3	0,570727	13,78
0,35	0,761315	18,38



**Рисунок 4 - Зависимость погрешности от расстояния до объекта**

Из таблицы видно, что точность измерения расстояния до дерева играет существенную роль. То есть  $\pm 12$  см в каждую сторону от реальной величины дают ошибку около 3%. В свою очередь при ошибке измерения в 30 см, погрешность при вычислении высоты дерева составит менее 20%, что является совершенно недопустимым при вычислении биометрических параметров.

## Пример расчета биометрических параметров дерева по фотографии

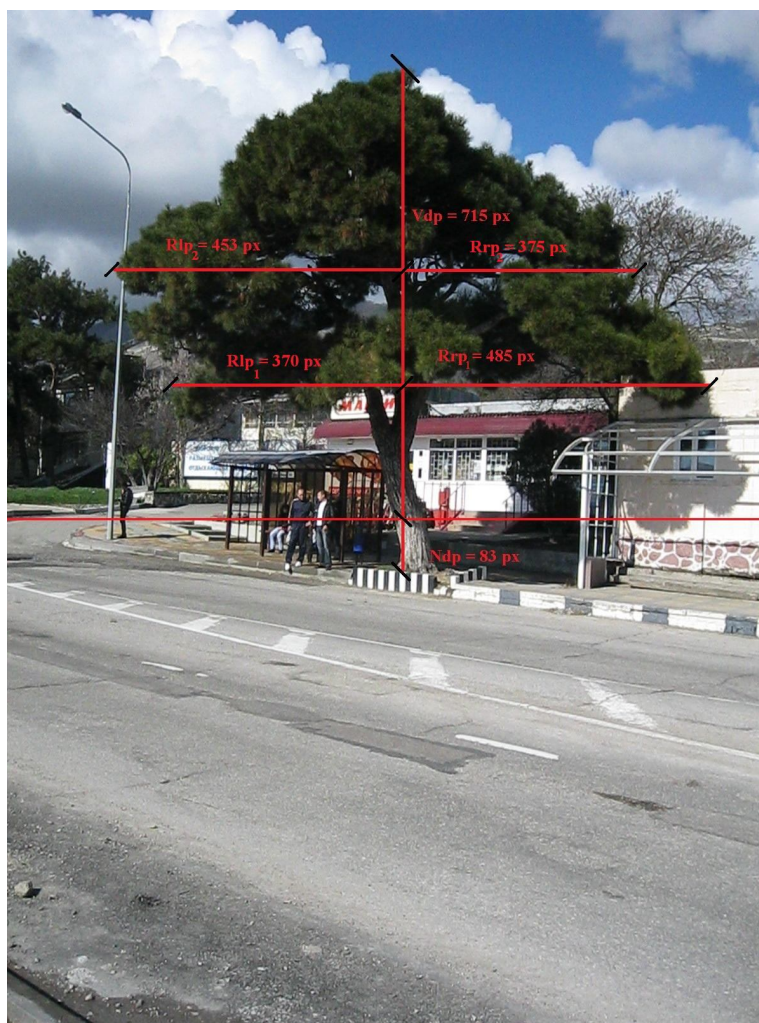


Рисунок 5 - Фото дерева с примерами замеров параметров в пикселях

### Входные данные:

$L$  – расстояние до объекта = 22,214 м.

$h_g$  – высота расположения камеры, метры = 1,60 м.

$U_k$  – угол обзора камеры =  $52,4^\circ$ .

$K_p$  – разрешение снимка, пиксели = 1600 px.

$N_{dp}$  – количество пикселей по фотографии от центра снимка до основания дерева = 83

$V_{dp}$  – количество пикселей на снимке от центра фотографии до вершины дерева = 715

### Вычисление высоты дерева:

1.  $U_g = \arctg(h_g/L) = \arctg(1,60/22,214) = 4,119709^\circ$
2.  $V_u = \arctg(V_{dp} * \tg(U_k/2)) / (K_p/2) =$   
 $= \arctg((715 * \tg(52,4/2)) / (1600/2)) = 23,73891^\circ$
3.  $N_u = \arctg(N_{dp} * \tg(U_k/2)) / (K_p/2) =$   
 $= \arctg(83 * \tg(52,4/2)) / (1600/2) = 2,922489^\circ$
4.  $\alpha = N_u - U_g = 2,922489 - 4,119709 = -1,19722^\circ$
5.  $h_v = L * \tg(V_u + \alpha) = 22,214 * \tg(23,73891 - 1,19722) = 9,220282 \text{ м.}$
6.  $h_n = h_g = 1,60 \text{ м.}$
7.  $H = h_n + h_g = 10,820282 \text{ м.}$

**Вычисление радиусов и диаметра кроны дерева:**

$$R_{R1} = (H * R_{RP1}) / (N_{dp} + V_{dp}) = (10,820282 * 485) / (83 + 715) = 6,14234 \text{ м,}$$

$$R_{R2} = (H * R_{RP2}) / (N_{dp} + V_{dp}) = (10,820282 * 375) / (83 + 715) = 5,08472 \text{ м,}$$

$$R_{L1} = (H * R_{LP1}) / (N_{dp} + V_{dp}) = (10,820282 * 453) / (83 + 715) = 5,01692 \text{ м,}$$

$$R_{L2} = (H * R_{LP2}) / (N_{dp} + V_{dp}) = (10,820282 * 453) / (83 + 715) = 6,57624 \text{ м,}$$

$$D_1 = R_{R1} + R_{L1} = 6,14234 + 5,01692 = 11,15926 \text{ м,}$$

$$D_2 = R_{R2} + R_{L2} = 5,08472 + 6,57624 = 11,66096 \text{ м,}$$

$$D_{\max} = R_{R\max} + R_{L\max} = 6,14234 + 6,57624 = 12,71858.$$

## **Вывод**

Предлагаемый метод расчета биометрических параметров по фотографии является удобным, простым и относительно дешевым способом проведения (получения) замеров дерева. Это дает возможность широкого его использования в научных и практических целях в различных областях.

## **Библиографический список**

1. Дылис Н.В., Носова Л.М. Фитомасса лесных биогеоценозов Подмосковья. М.: Наука, 1977. 144 с.
2. Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение. Учебник для ВУЗов. М.: Академический проект Гандиамус. 2011. 583с.

Авторы:

Лебедев С.В.  
Савельева Т.Ю.

Заведующий кафедрой  
«Информационный технологии в лесном секторе» МГУЛ  
профессор, д.б.н.

Чумаченко С.И.