



З. Я. Нагимов
И. С. Сальникова

ТАКСАЦИЯ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ

Екатеринбург
2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

З. Я. Нагимов
И. С. Сальникова

ТАКСАЦИЯ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ

Методические указания по выполнению контрольных работ
для обучающихся заочной формы обучения
специальности «Лесное дело» по дисциплине
«Методические основы лесоводственно-таксационных исследований»

Екатеринбург
2024

Печатается по рекомендации методической комиссии Института леса и природопользования.

Протокол № 1 от 2 октября 2023 г.

Рецензент – доцент кафедры лесоводства, канд. с.-х. наук *Г. А. Годовалов*

Предназначены для всех обучающихся, осваивающих образовательные программы всех направлений и специальностей высшего образования, реализуемых в УГЛТУ.

Редактор П. С. Фенина

Оператор компьютерной верстки Е. Н. Дунаева

Подписано в печать 27.02.2024 г.		Поз. 2
Плоская печать	Формат 60×84/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,86	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ

Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Общие указания.....	7
Рекомендуемая литература.....	7
Пояснения к выполнению контрольной работы	8
Пример выполнения контрольной работы	9
1. Определение фитомассы крон и хвои древостоя	10
методом среднего модельного дерева.....	10
2. Определение фитомассы крон и хвои древостоя	14
методом средних модельных деревьев	14
3. Определение фитомассы крон и хвои древостоя графическим методом	15
4. Определение фитомассы крон и хвои древостоя аналитическим методом	18
5. Сравнение точности методов определения.....	19
фитомассы древостоев.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Методические основы лесоводственно-таксационных исследований» относится к блоку Б1 учебного плана, входящего в состав образовательной программы высшего образования 35.04.01 – Лесное дело (профили: Лесоустройство и лесоуправление, Оптимальное лесопользование). Планируемыми результатами обучения по дисциплине являются знания, умения, владения, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы в целом.

Целью дисциплины является формирование у студентов понимания значимости оценки лесных ресурсов для организации их рационального использования, а также знаний методических основ количественной и качественной оценки деревьев, древостоев, насаждений, лесных массивов и научных исследований в области таксации леса и лесоводства.

Задачи дисциплины:

1) получение следующих знаний:

- современные выборочные методы исследований лесных ресурсов;
- основные законы роста и производительности древостоев;
- пространственная структура древостоев и ее влияние на их продуктивность;
- современные методы составления основных лесотаксационных нормативов;
- научные концепции изучения строения древостоев;
- современные представления и направления изучения хода роста древостоев;

2) овладение современными методами:

- таксации лесного и лесосечного фондов, инвентаризации лесов;
- математического моделирования и прогнозирования роста насаждений.

Изучение материала на лекциях и практических занятиях (включая самостоятельные занятия) позволяет студентам овладеть навыками, необходимыми в практической деятельности специалиста.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

- ПК-2. Способен планировать, организовать и проводить научные исследования в лесных и урбо-экосистемах для разработки современных технологий освоения лесов и природно-техногенных лесохозяйственных систем;

- ПК-5. Способен планировать и осуществлять мониторинг состояния, инвентаризацию и кадастровый учет лесов в природных, техногенных и урбанизированных ландшафтах.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен знать:

- таксационные показатели деревьев, древостоев, насаждений, фитомассы деревьев и древостоев и современные методы их определения, основные законы и закономерности роста и строения древостоев, содержание ГОСТ, ОСТ, других нормативов, регламентирующих лесооценочные работы, средства и методы обработки и анализа количественных и качественных характеристик состояния лесов и городских насаждений;

- теоретические и методические основы проведения научных исследований в лесных и урбо-экосистемах;

- основные понятия теории моделирования; принципы и виды моделирования; средства моделирования и модели, применяемые в процессе решения разнообразных задач в лесном хозяйстве;

- основные программные продукты, используемые при математическом моделировании в лесном хозяйстве;

- особенности древесных пород и условий их произрастания в связи с различными рекреационными нагрузками;

- основные категории и их характеристики, определяющие степень устойчивости процессов лесопользования и лесопользования;

- основные типы лесных карт и планово-картографические материалы, создаваемые при лесоустройстве, необходимые при планировании и осуществлении мониторинга, состояния, инвентаризации и кадастровом учете лесов в природных, техногенных и урбанизированных ландшафтах;

- методы таксации растущих деревьев, древостоев, насаждений;

- закономерности роста и строения древостоев в условиях городской среды;

- экологические, физические, социальные и экономические переменные экосистем.

Также обучающийся должен уметь назначать различные способы рубок в рекреационных лесах с учётом целевого назначения лесов, типа леса и особенностей древесных пород.

Дисциплина «Методические основы лесоводственно-таксационных исследований» тесно связана с дисциплинами «Методология научных исследований», «Информационные технологии в лесном деле» и «Организация научных исследований в лесном деле». Ее знание позволит лучше усвоить многие специальные и общепрофессиональные дисциплины, такие как «Современные направления лесоустройства», «Государственная инвентаризация лесов» и «Повышение продуктивности лесов», а также успешно выполнить и защитить магистерскую диссертацию.

Бакалавр по специальности «Лесное дело» обязан уметь:

- планировать и проводить научные исследования в лесных и урбо-экосистемах, находить оптимальные решения проблем и конкретных задач в области учета и оценки лесных ресурсов и городских насаждений, применять полученные лесотаксационные знания в научной и практической деятельности;

- разрабатывать разнообразные математические модели с целью их практического использования;

- осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий; анализировать современные проблемы науки и производства, решать сложные (нестандартные) задачи в профессиональной деятельности; проводить научные исследования, анализировать результаты и готовить отчетные документы;

- анализировать критерии и показатели устойчивого лесопользования;

- использовать данные лесных карт в практической лесохозяйственной деятельности, использовать изученные прикладные программные средства на базе ГИС-технологий для создания карт;

- закладывать пробные площади на определение таксационных показателей, выполнить описание участка в городских насаждениях; пользоваться приборами и инструментами; в целом, находить оптимальные решения проблем и конкретных задач в области учета и оценки городских лесонасаждений, применять полученные знания в практической работе; выполнять работы по ландшафтной таксации и оценке зеленых насаждений в городской среде.

Кроме того, он должен владеть:

- современными методами таксации отдельных деревьев, древостоев, насаждений, фитомассы деревьев и древостоев, городских посадок, лесного и лесосечного фондов и заготовленной лесной продукции; методами исследований строения, роста и товарной структуры древостоев; лесотаксационными приборами и инструментами;

- навыками планирования, организации и проведения научных исследований в лесных и урбо-экосистемах для разработки современных технологий освоения лесов и природно-техногенных лесохозяйственных систем;

- навыками разработки и использования математических моделей в профессиональной деятельности; способами формирования математических моделей; методами решения разнообразных математических моделей, возможностями практического использования; основными программными продуктами, используемыми при математическом моделировании в лесном хозяйстве;

- основными математико-статистическими методами анализа эксперимента; методами исследований строения и роста древостоев;
- навыками планирования, организации и проведения научных исследований в лесных и урбо-экосистемах для разработки современных технологий освоения лесов и природно-техногенных лесохозяйственных систем;
- навыками сбора и обработки статистической и другой информации для принятия на их основе эффективного управленческого решения, получения;
- навыками хранения и использования данных лесных карт.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Студент заочной формы обучения по дисциплине «Методические основы лесоводственно-таксационных исследований» прикрепляет в электронную информационную образовательную среду УГЛТУ (ЭИОС) одну контрольную работу, которая заключается в определении фитомассы древостоя разными методами. Задания сведены в 10 вариантов, в каждом из которых даны исходные данные для отдельной пробной площади. Номер варианта определяется по последней цифре зачетной книжки студента.

Все расчеты должны быть произведены самостоятельно. Дословная переписка контрольной работы по аналогичному варианту не допускается так же, как и выполнение не своего варианта. При обнаружении таких случаев работа будет возвращена на исправление. На титульном листе контрольной работы указывается: университет, институт, кафедра, название дисциплины, шифр специальности, курс, фамилия, имя, отчество студента, № зачетной книжки.

При выполнении расчетной части данные представить необходимо в форме, приведенной ниже в примере расчета. При выписывании исходных цифр по вариантам обязательно сделать их сверку.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Таксация леса. Ход роста насаждений : учебное пособие / И. С. Сальникова, Т. С. Воробьева, З. Я. Нагимов [и др.]. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. – 130 с. – ISBN 978-5-94984-758-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/157271> (дата обращения: 25.02.2024).

2. Нагимов, З. Я. Таксация леса : учебное пособие / З. Я. Нагимов, И. Ф. Коростелев, И. В. Шевелина. 2-е изд.. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2010. – 300 с.

3. Нагимов, З. Я. Приборы, инструменты и устройства для таксации леса : учебное пособие / З. Я. Нагимов, И. В. Шевелина, И. Ф. Коростелев. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – 214 с. – ISBN 978-5-94984-693-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/142545> (дата обращения: 25.02.2024).

ПОЯСНЕНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

При определении запасов фракций фитомассы (крон, хвои, стволов, корней) в свежесрубленном и абсолютно сухом состояниях на единице площади в основном применяются методы, используемые при таксации запаса стволовой древесины. Выбор того или иного метода производится с учетом лесоводственно-таксационных характеристик древостоев, биологических особенностей образующих их деревьев, а также практических и научных целей работы. Наибольшее применение имеют следующие методы: среднего модельного дерева, средних модельных деревьев, графический и аналитический (регрессионный).

Исходные данные по вариантам приведены в прил. 1. Студент для своего варианта выполняет следующие расчеты и построения:

1. Определяет фитомассу крон и хвои древостоя методом среднего модельного дерева.
2. Определяет фитомассу крон и хвои древостоя методом средних модельных деревьев.
3. Определяет фитомассу крон и хвои древостоя графическим методом.
4. Выполняет сравнение точности разных методов определения фитомассы крон и хвои древостоя.

Результаты расчетов необходимо оформить по аналогии с приведенным ниже примером расчета, проведенным для исходных данных, представленных в табл. 1.

Обязательно в конце отчета должны быть сделаны выводы по точности методов определения фитомассы древостоя.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Таблица 1

Исходные данные в бланке варианта задания

Площадь пробы 0,25 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста V
 Тип леса сосняк брусничниковый
 Класс бонитета III

Ступени толщины, см	Число деревьев по пере- чету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	20,0	20,5	92	25,94	7,02
8	19	2	20,1	20,3	89	24,99	6,89
12	32	3	21,0	20,5	90	26,3	7,33
16	49	4	8,0	11,3	88	2,21	0,74
20	53	5	8,3	11,4	88	2,45	0,91
24	43	6	12,5	15,5	89	5,58	1,88
28	20	7	12,0	15,0	88	5,24	1,69
32	12	8	11,5	15,0	88	4,95	1,32
36	2	9	16,0	18,0	89	13,2	3,78
40		10	16,0	18,0	90	13,06	3,66
44		11	16,5	18,4	92	13,65	4,02
48		12	16,0	18,0	92	13,2	3,7
		13	16,0	18,0	92	13,13	3,68
		14	19,7	20,3	89	24,15	7,23
		15	19,0	20,1	89	23,99	7,12
		16	25,0	22,8	89	51,33	14,65
		17	25,0	22,8	93	50,56	13,88
		18	36,2	26,2	94	148,57	46,19
		19	24,0	22,3	94	49,88	13,45
		20	28,0	23,8	87	75,09	19,08
		21	33	25,3	94	123,26	30,65

В задании даны: площадь пробы, преобладающая порода, класс возраста, тип леса и класс бонитета. В первых двух столбцах таблицы представлена пересчетная ведомость для преобладающей породы, в столбцах 3–8 – ведомость модельных деревьев с указанием порядкового номера дерева и его таксационных характеристик.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ КРОН И ХВОИ ДРЕВОСТОЯ МЕТОДОМ СРЕДНЕГО МОДЕЛЬНОГО ДЕРЕВА

Метод среднего модельного дерева использует следующий подход: в древостое подбирается модельное дерево, близкое по диаметру и высоте к средним значениям этих показателей в древостое; по данным фитомассы такого дерева делается перерасчет фитомассы на все насаждение в целом.

1.1. По данным перечетной ведомости из своего варианта задания (столбцы 1–2 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1) по общепринятой в таксации леса методике находят средний диаметр элемента леса.

1.1.1. Находим сумму площадей сечений ($\sum G_{ст.}$) для каждой ступени толщины на пробной площади (табл. 2) по формуле:

$$\sum G_{ст.} = \frac{\pi \cdot d^2}{40000} \cdot n, \quad (1)$$

где d – ступень толщины, см;

n – количество деревьев в ступени толщины, шт.

Таблица 2

Расчет суммы площадей сечения ступени толщины

Ступени тол- щины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Сумма площадей сечения ступени толщины ($\sum G_{ст.}$), м ²
8	19	0,0955
12	32	0,3617
16	49	0,9847
20	53	1,6642
24	43	1,9443
28	20	1,2309
32	12	0,9646
36	2	0,2035

1.1.2. Находим сумму площадей сечений на пробной площади ($\sum G_{прп.}$), суммируя полученные значения сумм площадей сечений каждой ступени толщины:

$$\sum G_{прп.} = \sum G_{ст.1} + \sum G_{ст.2} + \dots + \sum G_{ст.n}, \quad (2)$$

где $\sum G_{ст.n}$ – сумма площадей сечения ступени, м².

$$\sum G_m = 7,4493(\text{м}^2).$$

1.1.3. Для нахождения средней площади сечения нужно разделить сумму площадей сечений пробной площади на количество деревьев на пробе:

$$G_{cp} = \frac{7,4496}{230} = 0,0324(\text{м}^2).$$

1.1.4. После этого переходим к нахождению среднего диаметра элемента леса (D_{cp})

$$D_{cp.} = \sqrt{\frac{40000 \times G_m^{cp.}}{3,14}}, \quad (3)$$

где $G_m^{cp.}$ – средняя площадь сечения пробной площади, м^2 .

$$D_{cp.} = \sqrt{\frac{40000 \times 0,0324}{3,14}} = 20,3 \text{ (см)}.$$

1.2. Средняя высота находится по графику кривой высот с помощью табличного редактора, например, MS Excel.

1.2.1. На оси абсцисс откладываются значения диаметров модельных деревьев (столбец 4 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1), по оси ординат – значения высот модельных деревьев (столбец 5 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1). Тип диаграммы нужно выбрать «Точечная» (рис. 1).

1.2.2. Затем на графике выделяем кривую и, нажав правую клавишу мыши, выбираем строку «Добавить линию тренда...». В параметрах настройки выбирается модель с выгнутой линией тренда (логарифмическая, степенная или полином второго порядка) и отмечаются галочкой следующие пункты: «показывать уравнение на диаграмме» и «поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)». Полином второго порядка можно использовать только **без свободного члена**, для этого нужно поставить еще галочку в пункте «Пересечение кривой с осью Y в точке (0;0)».

Методом перебора моделей выбирается модель с наибольшим значением коэффициента детерминации R^2 (логарифмическая, степенная или полином второго порядка без свободного члена).

В нашем примере зависимость лучше всего описывается логарифмической функцией (для выравнивания графика), так как коэффициент детерминации $R^2 = 0,9988$ имеет большее значение, чем для других функций.

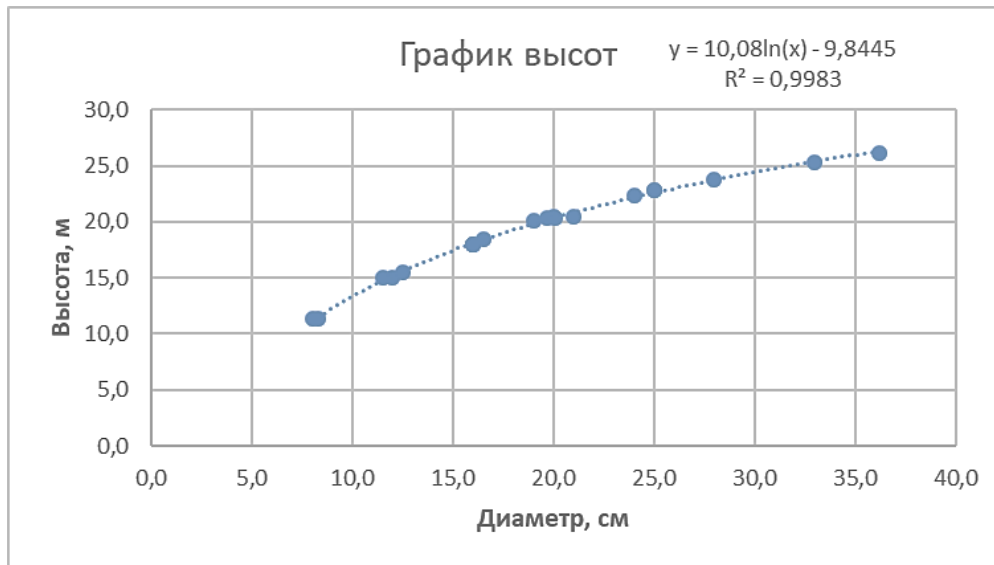


Рис. 1. Кривая высот (зависимость высоты деревьев от диаметра на высоте 1,3 м)

1.2.3. Для нахождения средней высоты ($H_{\text{ср}}$) в полученные уравнения линий тренда вместо переменной X подставляем значения среднего диаметра ($D_{\text{ср}}$), полученное в п. 1.1.4.

В нашем примере для того, чтобы найти среднюю высоту, нам необходимо подставить в уравнение $y = 10,08\ln(x) - 9,8445$ значение среднего диаметра $D_{\text{ср}} = 20,3$ см.

$$H_{\text{ср}} = 10,08 \cdot \ln 20,3 - 9,8445 = 20,5 \text{ м.}$$

1.3. В ведомости модельных деревьев (столбцы 3–4 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1) выбирают из модельных деревьев то, которое имеет диаметр и высоту наиболее близкие по значениям со средними для элемента леса, найденными в соответствии с п. 1.1 и 1.2.

В нашем примере должно быть выбрано модельное дерево №1, у которого средний диаметр равнялся 20,0 см и средняя высота – 20,5 м.

1.4. Запас фракций фитомассы (крон и хвои) определяется по формулам:

$$P_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{кр.мод.дер}} \times \sum G_{\text{за}}}{G_{\text{мод.дер}}}, \quad (4)$$

$$P_{\text{хв}} = \frac{P_{\text{хв.мод.дер}} \times \sum G_{\text{за}}}{G_{\text{мод.дер}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{кр.мод.дер}}$ – фитомасса кроны модельного дерева, кг;

$P_{\text{хв.мод.дер}}$ – фитомасса хвои модельного дерева, кг;

$\sum G_{ca}$ – сумма площадей сечений на 1 га, м²;

$G_{\text{мод.дер.}}$ – площадь поперечного сечения модельного дерева, м².

1.4.1. Находим площадь поперечного сечения выбранного модельного дерева по формуле

$$G_{\text{мод.дер.}} = \frac{\pi \times d_{1,3}^2}{40000}, \quad (6)$$

где $d_{1,3}$ – диаметр модельного дерева на высоте 1,3 метра, см.

В нашем примере площадь поперечного сечения для выбранного дерева №1 составляет:

$$G_{\text{мод.дер.}} = \frac{3,14 \times 20,0^2}{40000} = 0,0314 \text{ м}^2$$

1.4.2. Сумму площадей поперечных сечений на 1 га нужно определить по формуле

$$\sum G_{ca} = \frac{\sum G_{mn}}{S}, \quad (7)$$

где $\sum G_{mn}$ – сумма площадей сечений пробной площади, м²;

S – площадь пробной площади, га.

Для нашего примера сумму площадей поперечного сечения деревьев на пробной площади мы нашли в п. 1.1.2, а площадь пробной площади берут из исходных данных (см. значение над табл. 1):

$$\sum G_{ca} = \frac{7,4493}{0,25} = 29,7973 \text{ м}^2.$$

1.4.3. По формуле (4) находим фитомассу крон древостоя, взяв значение фитомассы кроны для дерева № 1 из исходных данных (см. столбец 7 табл. 1):

$$P_{кр} = \frac{25,94 \times 29,7973}{0,0314} = 24616,02 \text{ кг.}$$

1.4.4. По формуле (5) находим фитомассу хвои древостоя, взяв значение фитомассы хвои для дерева № 1 из исходных данных (см. столбец 8 табл. 1):

$$P_{хв} = \frac{7,02 \times 29,7973}{0,0314} = 6661,70 \text{ кг.}$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ КРОН И ХВОИ ДРЕВОСТОЯ МЕТОДОМ СРЕДНИХ МОДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Во избежание ошибок при определении фитомассы, возникающих из-за трудности подбора среднего модельного дерева, рекомендуется использовать несколько моделей, имеющих близкие размеры по диаметру и высоте к средним значениям этих показателей в древостое. За счет использования данных измерения нескольких деревьев снижается величина ошибки при перерасчете фитомассы на весь древостой по сравнению с методом среднего модельного дерева.

2.1. В этом случае запас фракций фитомассы древостоя (крон и хвои) определяется по формулам:

$$P_{кр} = \frac{\sum P_{кр.мод.дер} \times \sum G_{за}}{\sum G_{мод.дер}}, \quad (8)$$

$$P_{хв} = \frac{\sum P_{хв.мод.дер} \times \sum G_{за}}{\sum G_{мод.дер}}, \quad (9)$$

где $\sum P_{кр.мод.дер}$ – общая фитомасса кроны выбранных деревьев, кг;

$\sum P_{хв.мод.дер}$ – общая фитомасса хвои выбранных деревьев, кг;

$\sum G_{за}$ – сумма площадей сечений на 1 га, м²;

$\sum G_{мод.дер}$ – сумма площадей поперечного сечения выбранных модельных деревьев, м².

2.2. Выбираем 3–5 модельных деревьев, диаметры и высоты которых наиболее близки по значениям среднему диаметру и высоте древостоя, полученным в п. 1.1–1.2. В нашем примере было выбрано 3 модельных дерева: № 1, № 2 и № 3, так как их диаметры и высоты близки по своим значениям к среднему диаметру в 20,3 см и высоте в 20,5 м (см. табл. 1).

2.3. Находим площадь поперечного сечения для каждого из выбранных модельных деревьев по формуле (6). Затем находим сумму площадей поперечного сечения выбранных модельных деревьев $\sum G_{мод.дер}$ по следующей формуле

$$\sum G_{мод.дер} = 0,0314 + 0,0317 + 0,0346 = 0,0977 \text{ м}^2.$$

2.4. По формуле (8) находим фитомассу крон древостоя, взяв значение общей фитомассы крон модельных деревьев, как сумму фитомассы крон деревьев № 1, № 2 и № 3 из исходных данных (столбец 7 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1):

$$P_{кр} = \frac{77,2 \times 29,7973}{0,0977} = 23546,21 \text{ кг.}$$

2.5. По формуле (9) находим фитомассу хвои древостоя, взяв значение общей фитомассы хвои модельных деревьев, как сумму фитомассы хвои деревьев № 1, № 2 и № 3 из исходных данных (столбец 8 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1):

$$P_{хв} = \frac{21,24 \times 29,7973}{0,0977} = 6475,74 \text{ кг.}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ КРОН И ХВОИ ДРЕВОСТОЯ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Графический метод определения фитомассы древостоя заключается в снятии с графика средних значений массы фракций для каждой ступени толщины с последующим умножением этих величин на число деревьев в ступени по перечетной ведомости. Суммирование полученных значений дает величину фитомассы фракции на пробной площади, по которой потом можно получить значение на 1 га.

3.1. Для построения графика зависимости фракций фитомассы от диаметра ствола дерева лучше использовать табличный редактор, например, MS Excel. На оси абсцисс откладываются значения диаметров модельных деревьев из исходных данных (столбец 4 в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1), по оси ординат – значения фракций фитомассы модельных деревьев (столбец 7 (для фитомассы кроны) или столбец 8 (для фитомассы хвои) в таблице исходных данных, для примера см. табл. 1). Тип диаграммы нужно выбрать «Точечная» (рис. 2–3).

Затем на графике выделяем кривую и, нажав правую клавишу мыши, выбираем строку «Добавить линию тренда...». В параметрах настройки выбирается модель с вогнутой линией тренда (экспоненциальная, степенная или полином второго порядка) и отмечаются галочкой следующие пункты: «показывать уравнение на диаграмме» и «поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)». Полином второго порядка можно использовать только **без свободного члена**, для этого нужно поставить еще галочку в пункте «Пересечение кривой с осью Y в точке (0;0)».

Методом перебора моделей выбирается модель с наибольшим значением коэффициента детерминации R^2 (экспоненциальная, степенная или полином второго порядка без свободного члена).

В нашем примере зависимость для фитомассы кроны лучше всего описывается степенной функцией (для выравнивания графика), так как коэффициент детерминации $R^2 = 0,9929$ имеет большее значение, чем для других функций (рис. 2).

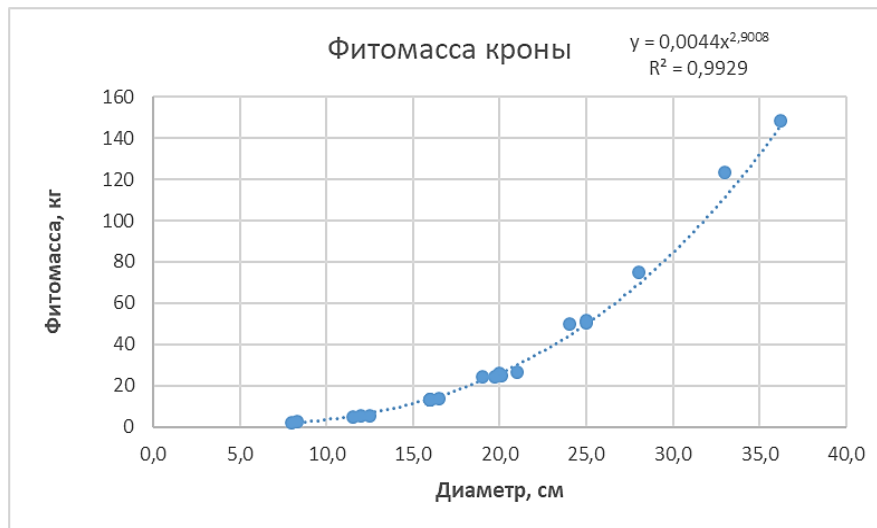


Рис. 2. Зависимость фитомассы кроны деревьев от диаметра на высоте 1,3 м

Для фитомассы хвои также лучшей оказалась степенная модель, так как коэффициент детерминации $R^2 = 0,9865$ имеет большее значение, чем для других функций (рис. 3).

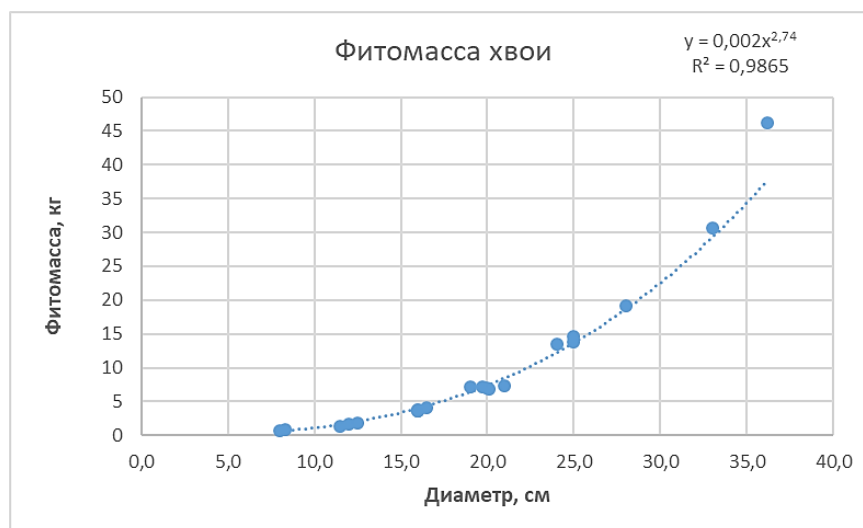


Рис. 3. Зависимость фитомассы хвои деревьев от диаметра на высоте 1,3 м

3.2. Для нахождения массы фракции для одного дерева определенной ступени толщины подставляем значение этой ступени толщины вместо переменной «X» в найденное ранее по графику уравнение (для примера см. столбцы 3 и 5 табл. 3).

Для нашего примера расчет массы фракций для одного дерева ступени толщины ST нужно производить по следующим формулам (см. рис. 2–3):

– для кроны $P_{кр} = 0,0044 \cdot ST^{2,9008}$;

– для хвои $P_{хв} = 0,002 \cdot ST^{2,74}$.

Таблица 3

Расчет фитомассы фракций древостоя, найденной графическим методом

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Фитомасса кроны, кг		Фитомасса хвои, кг	
		Одного дерева	Ступени толщины	Одного дерева	Ступени толщины
8	19	1,8329	34,825	0,5963	11,330528
12	32	5,9421	190,148	1,8113	57,961096
16	49	13,6888	670,749	3,9840	195,21574
20	53	26,1505	1385,978	7,3426	389,15987
24	43	44,3782	1908,262	12,1007	520,32807
28	20	69,4015	1388,029	18,4605	369,20961
32	12	102,2331	1226,798	26,6159	319,39064
36	2	143,8716	287,743	36,7535	73,507025
Итого на ПП	230	–	7092,5	–	1936,1026
Итого на га	920	–	28370,1	–	7744,4103

3.3. Затем полученные значения умножаются на количество деревьев в данной ступени толщины на пробной площади по перечетной ведомости (для примера см. столбцы 4 и 6 табл. 3). Перечетной ведомостью являются столбцы 1–2 в таблице исходных данных (см. пример в табл. 1).

3.4. Сумма значений массы фракций всех ступеней толщины дает значение общей фитомассы фракции на пробной площади (для примера см. строку «Итого на ПП» в столбцах 4 и 6 табл. 3).

3.5. Чтобы перевести значение фитомассы на 1 га, необходимо разделить значение фитомассы фракции на пробной площади на площадь пробы, взятую из исходных данных (см. значение над табл. 1):

$$\sum P_{га} = \frac{\sum P_m}{S}, \quad (10)$$

где $\sum P_m$ – фитомасса фракции на пробной площади;
 S – площадь пробной площади, га.

Результаты вычислений для нашего примера см. в строке «Итого на га» в столбцах 4 и 6 табл. 3.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОМАССЫ КРОН И ХВОИ ДРЕВОСТОЯ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Отличается от предыдущего только процедурой подбора модели выравнивания. Зависимость массы фракций определяется не только от значения ступени толщины (т. е. диаметра деревьев), но и от других таксационных показателей деревьев. Выбор уравнения, наиболее точно выражающего зависимость фитомассы от других переменных, производится через оценку его точности.

Форма функциональных связей, передающих зависимость фитомассы деревьев от их таксационных показателей, зависит от фракции фитомассы, для которой подбирается уравнение, и от таксационных показателей, которые используются в качестве независимых переменных. В настоящее время предложено множество уравнений для описания зависимости фитомассы деревьев от их таксационных показателей. Наиболее употребительными являются следующие уравнения:

$$\begin{aligned} y &= ax + b; \\ y &= ax^2 + vx + c; \\ y &= a \ln x + b; \\ y &= a/x + b; \\ y &= ax^b; \\ y &= av^x; \\ y &= ax^b + c; \\ y &= ax^b + e^{cx}. \end{aligned}$$

Наилучшее уравнение определяется по наибольшему значению коэффициента детерминации (R^2).

Для получения регрессионных уравнений зависимости фракций фитомассы от таксационных показателей деревьев необходимо использование специальных пакетов статистического анализа, например, STATISTICA.

Аналитический метод в контрольной работе не выполняется, так как пакет STATISTICA будет изучаться в ходе дисциплин следующих учебных сессий.

5. СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОМАССЫ ДРЕВОСТОЕВ

Для определения точности методов нахождения фитомассы крон и хвои деревьев используется следующая формула расчета процента расхождения:

$$\Delta = \frac{P_{\text{неточн.}} - P_{\text{точн.}}}{P_{\text{точн.}}} \times 100 \% , \quad (11)$$

где $P_{\text{неточн.}}$ – фитомасса, найденная с помощью методов среднего дерева или средних деревьев, кг;

$P_{\text{точн.}}$ – фитомасса, найденная при помощи графического метода, кг.

Исходя из данных табл. 4, необходимо сделать вывод о том, какой метод нахождения фитомассы является более точным для каждой фракции (хвои и общей фитомассы кроны).

Таблица 4

Сравнение точности разных методов определения фитомассы крон и хвои (на 1 га)

Метод	Фитомасса кроны на га		Фитомасса хвои на га	
	Значение, кг	Расхождение, %	Значение, кг	Расхождение, %
Среднего дерева				
Средних модельных деревьев				
Графический		–		–

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ВАРИАНТАМ

Приложение 1

Вариант 0

Площадь пробы 0,56 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста VI
 Тип леса сосняк разнотравный
 Класс бонитета III

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	12,0	16,0	120	2,91	0,93
8	10	2	16,5	18,0	120	10,42	2,48
12	9	3	16,5	18,3	121	10,5	2,56
16	27	4	16,0	18,0	119	10,25	2,53
20	40	5	20,3	20,5	119	20,14	4,7
24	42	6	44,2	26,0	119	248,26	48,5
28	29	7	20,1	20,5	119	18,76	3,44
32	31	8	20,0	20,5	117	18,18	3,35
36	13	9	24,0	22,2	119	35,22	7,98
40	30	10	8,2	13,0	109	1,59	0,521
44	4	11	24,0	22,2	117	33,27	7,85
48		12	24,1	22,2	116	33,56	7,88
		13	28,7	23,4	119	58,3	12,62
		14	28,6	23,4	120	56,81	12,55
		15	28,9	23,4	121	58,63	12,7
		16	32,5	24,0	118	91,25	18,8
		17	32,0	24,0	120	90,21	18,71
		18	36,0	24,5	117	129,98	26,61
		19	40,0	25,0	118	183,9	36,47
		20	40,5	26,5	120	185,03	36,54
		21	40	25	120	184,01	36,51

Вариант 1

Площадь пробы 0,15 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста _____
 Тип леса сосняк ягодниковый
 Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
6	49	1	4,5	7,7	63	0,422	0,122
8	94	2	5	8,63	63	0,35	0,076
10	62	3	7,2	11,38	59	2,696	0,903
12	63	4	8	15,4	58	1,876	0,87
14	63	5	8,2	12,98	64	1,59	0,521
16	33	6	10,1	15,19	62	2,372	1,116
18	24	7	10,3	16,81	62	8,029	4,262
20	18	8	11,7	16,8	65	7,775	3,041
22	7	9	12,7	16,95	63	8,855	3,091
24	6	10	14,9	17,23	60	20,33	5,903
26	2	11	15	16,5	61	14,312	5,481
		12	17,5	17,6	62	20,081	6,391
		13	20,8	20	63	45,06	15,069
		14	21,9	18	62	67,024	21,191
		15	23,5	18,88	61	47,327	13,378
		16	25,5	20,8	63	81,61	19,914

Вариант 2

Площадь пробы 0,3 га

Преобладающая порода Сосна

Класс возраста _____

Тип леса сосняк ягодниковый

Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	16,2	17,1	103	10,48	2,86
8	22	2	20,5	19,7	100	21,74	5,49
12	43	3	23,3	21,5	102	39,47	9,48
16	55	4	27,0	23,1	108	49,87	12,04
20	67	5	28,2	22,9	101	63,65	15,03
24	64	6	31,1	24,2	102	79,89	20,47
28	34	7	33,0	25,1	101	98,82	24,4
32	16	8	33,2	25,5	97	100,9	25,6
36	2	9	32,1	24,0	106	98,99	22,4
40		10	35,2	25,2	104	120,65	28,87
44		11	36,8	25,0	95	145,64	34,46
		12	37,1	25,5	99	165,44	35,87
		13	12,4	16,1	87	5,58	1,64
		14	15,0	17,2	91	10,54	3,15
		15	15,8	18,5	99	12,11	4,29
		16	8,2	12,98	87	1,59	0,521

Вариант 3

Площадь пробы 0,36 га

Преобладающая порода Сосна

Класс возраста _____

Тип леса сосняк ягодниковый

Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	44,2	25,8	108	324,19	72,4
8	3	2	20,5	19,7	100	21,74	5,49
12	20	3	28,5	25,9	74	73,17	18,73
16	24	4	32,5	25,7	71	113,58	27,93
20	21	5	32,5	24,4	71	110,6	25,03
24	40	6	27,0	21,1	71	60,22	17,51
28	31	7	32,1	23,5	69	113	27,33
32	42	8	24,6	24,7	71	44,04	11,81
36	9	9	35,2	25,5	88	152,33	36,48
40	8	10	16,0	17,1	99	11,48	2,86
44	2	11	10,7	11,9	44	2,74	0,91
		12	37,1	25,5	79	187,22	43,76
		13	40,5	26,1	75	236,85	54,38
		14	41,0	26,0	108	255,14	58,87
		15	44,5	26,5	104	330,19	72,65

Вариант 4

Площадь пробы 0,65 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста _____
 Тип леса сосняк ягодниковый
 Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	16,0	17,1	99	11,48	2,86
8		2	21,0	19,7	102	22,57	5,49
12	1	3	22,3	21,5	101	35,75	8,3
16	9	4	27,0	23,1	109	55,27	13,54
20	28	5	27,2	22,9	98	65,33	15,03
24	53	6	31,0	24,2	100	84,22	20,47
28	48	7	33,0	25,1	96	110,12	24,86
32	40	8	33,1	25,5	93	112,55	25,03
36	15	9	32,1	24,0	102	98,82	22,4
40	11	10	35,2	25,0	100	135,64	29,06
44	7	11	36,4	25,2	89	145,64	31,87
		12	37,0	25,5	95	160,03	34,46
		13	40,5	26,1	98	206,06	43,67
		14	41,0	26,0	107	221,98	47,67
		15	44,3	26,5	102	282,05	58,08
		16	13,8	11,0	87	7,79	2,4

Вариант 5

Площадь пробы 0,6 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста _____
 Тип леса сосняк ягодниковый
 Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	13,9	15,1	100	7,92	2,06
8	12	2	17,5	17,7	97	16,77	4,19
12	18	3	21,3	20,5	99	26,57	6,55
16	22	4	25,0	22,1	105	44,77	11,74
20	87	5	26,2	21,9	98	52,85	12,32
24	46	6	29,1	23,4	99	70,51	17,2
28	53	7	31,0	24,1	99	89,06	20,64
32	54	8	31,2	23,4	94	92,03	21,54
36	36	9	30,1	23,0	103	84,06	18,64
40	24	10	33,2	24,0	101	113,63	24,97
44	7	11	34,8	24,2	92	126,88	26,91
		12	35,1	24,5	96	135,37	28,95
		13	38,5	25,1	100	177,29	37,47
		14	39,0	25,0	105	209,66	40,46
		15	42,5	25,5	101	241,98	50,53
		16	8,2	12,98	92	1,59	0,521

Вариант б

Площадь пробы 0,53 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста _____
 Тип леса сосняк брусничниковый
 Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	16,1	18,5	82	11,48	2,97
8	22	2	18,4	19,3	90	16,77	4,12
12	43	3	20,2	20,5	97	23,52	5,63
16	55	4	21,5	20,8	89	27,66	6,55
20	67	5	13,8	11,0	87	7,79	2,4
24	64	6	24,2	22,2	93	42,26	9,64
28	34	7	25,6	22,5	89	54,66	11,03
32	16	8	8,2	13,0	92	1,59	0,521
36	2	9	27,9	23,2	90	69,35	15,2
40	4	10	29,5	23,4	97	84,06	18,64
44	4	11	30,1	23,5	96	85,1	19,01
		12	31,1	24,0	93	89,06	20,55
		13	32,4	24,5	89	103,63	22,47
		14	36,1	25,2	97	148,57	26,91
		15	40,2	25,5	92	206,06	43,67
		16	44,2	26,1	99	241,98	50,53

Вариант 7

Площадь пробы 0,56 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста VI
 Тип леса сосняк брусничниковый
 Класс бонитета III

Ступени толщины, см	Число де- ревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	11,5	13,5	105	2,91	0,93
8	141	2	12,5	14,5	107	5,24	1,59
12	119	3	16,0	17,2	103	10,25	2,48
16	101	4	16,3	17,5	107	10,81	2,53
20	68	5	16,0	17,3	110	10,32	2,5
24	28	6	17,7	21,5	110	14,31	3,44
28	26	7	22,0	21,6	110	27,44	6,23
32	18	8	21,0	20,8	110	23,56	5,23
36		9	8,2	13,0	98	1,59	0,521
40		10	22,0	21,7	111	27,4	6,2
44		11	21,0	20,8	111	23,6	5,89
		12	18,7	19,4	112	14,53	4,01
		13	24,0	23,0	112	36,38	8,05
		14	31,1	24,0	100	89,06	20,55
		15	32,4	24,5	101	103,63	22,47
		16	24,7	23,5	113	38,65	8,66
		17	25,5	23,6	114	42,12	9,2
		18	24,0	23,0	114	37,71	7,98
		19	28,0	25,0	115	59,98	12,7
		20	29,9	25,5	115	75,02	15,49
		21	33	26,4	115	94,75	18,83

Вариант 8

Площадь пробы 0,6 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста _____
 Тип леса сосняк разнотравный
 Класс бонитета _____

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	16,1	18,6	88	11,48	2,97
8	14	2	18,5	19,2	90	16,77	4,19
12	44	3	20,2	20,4	97	23,52	5,71
16	104	4	21,5	20,9	89	31,92	6,32
20	77	5	23,0	21,3	101	36,65	8,56
24	32	6	12,5	14,5	85	5,24	1,59
28	29	7	8,2	13,0	87	1,59	0,521
32	25	8	25,5	22,5	89	54,66	10,98
36	32	9	24,8	22,0	102	48,26	10,01
40	24	10	27,1	22,6	103	62,32	13,23
44	7	11	28,0	23,0	90	69,35	15,3
		12	29,5	23,4	97	80,23	18,52
		13	30,0	23,5	96	84,06	18,64
		14	30,5	23,3	101	88,02	19,02
		15	31,1	24,0	104	89,63	20,53
		16	32,7	24,5	89	103,63	22,55
		17	36,5	24,6	109	152,04	31,89
		18	36,1	25,2	97	148,57	30,99
		19	40,8	25,5	92	209,66	43,67
		20	44,2	26	99	282,05	58,08

Вариант 9

Площадь пробы 0,6 га
 Преобладающая порода Сосна
 Класс возраста IV
 Тип леса сосняк разнотравный
 Класс бонитета I

Ступени толщины, см	Число деревьев по перечету, шт.	Модельные деревья					
		№	Диаметр, см	Высота, м	Возраст, лет	Общая фитомасса кроны, кг	Фитомасса хвои, кг
4		1	23,8	22,1	109	34,13	7,98
8	5	2	23,8	22,5	110	35,22	8,12
12	24	3	24,7	23,2	107	40,52	8,66
16	29	4	12,0	16,4	107	6,67	2,18
20	26	5	12,5	16,6	107	7,03	2,65
24	38	6	16,0	18,7	107	10,25	2,48
28	40	7	16,5	19,0	109	11,3	3,1
32	28	8	20,0	20,4	109	20,89	4,7
36	32	9	20,0	20,5	109	20,99	5,02
40	4	10	24,0	22,3	109	35,22	8,05
44	4	11	24,0	22,3	109	35,12	8,03
		12	24,5	22,5	109	37,65	9,02
		13	29,5	24,5	108	70,56	15,49
		14	29,0	24,3	108	60,85	14,96
		15	28,0	24,0	108	58,3	12,7
		16	32,0	25,4	108	90,21	18,77
		17	32,0	25,4	110	90,3	18,71
		18	32,6	25,6	110	92,36	19,15
		19	32,7	25,7	111	93	19,5
		20	36,0	26,8	107	127,63	26,64
		21	40,5	27,7	108	180,99	36,47
		22	44,2	26	109	248,26	48,5