

УДК 630*524.2

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ГИС FIELD-MAP ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТАБЛИЦ ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Шевелина И.В., Суслов А.В., Нуриев Д.Н., Нагимов З.Я., Марковцева А.Н., Дунаев И.С.

*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург,
e-mail: ishevelina@gmail.com*

В статье приведены результаты оценки точности определения различных таксационных показателей растущих деревьев при помощи программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map. Установлено, что точность определения высоты деревьев по данным комплекса удовлетворяет самым строгим требованиям: относительные отклонения высоты от истинного значения этого показателя варьируют в пределах от 0,11 до 5,79%, систематическая ошибка измерений составляет 1,02%, среднеквадратическая – $\pm 3,06\%$, а средняя по всем учетным деревьям – $\pm 0,65\%$. Ошибки в определении диаметров ствола на разных высотных отметках закономерно повышаются по мере увеличения высоты измерения. В нижней подкороновой части ствола они находятся во вполне допустимых пределах. Средние ошибки измерения диаметров по всем учетным деревьям во всех случаях меньше $\pm 3\%$. На основе измерения с помощью программно-измерительного комплекса диаметров на разных фиксированных высотных отметках с приемлемой для таксационных работ точностью определяется объем стволов растущих деревьев. Выявлено, что точность заметно повышается при определении объема путем суммирования объемов секций, на которые может быть разделен ствол по результатам измерения диаметров. Средняя ошибка составляет $\pm 1,33\%$. С помощью функции программно-измерительного комплекса объем определяется с меньшей точностью, средняя ошибка составляет $\pm 2,07\%$. Результаты исследования свидетельствуют, что программно-измерительный комплекс на базе ГИС Field-Map может эффективно применяться при разработке таблиц объемов стволов без рубки деревьев в городских условиях.

Ключевые слова: городские озеленительные посадки, объемные таблицы, таксационные показатели, программно-измерительный комплекс на базе ГИС Field-Map

ESTIMATION OF USING FIELD-MAP TECHNOLOGY IN DEVELOPMENT OF THE STEM VOLUME TABLES IN URBAN ENVIRONMENT

Shevelina I.V., Suslov A.V., Nuriev D.N., Nagimov Z.Ya., Markovtseva A.N., Dunaev I.S.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: ishevelina@gmail.com

Accuracy estimation results of determining various taxation parameters of trees using Field-Map technology are given in the article. It was established that the accuracy determining of the trees height using the technology meets the most severe requirements. The relative deviation of the height vary in the range from 0,11 to 5,79%. The systematic error of the measurements is – 1,0%, standard error is $\pm 3,06\%$, and the mean error for all trees is $\pm 0,65\%$. Errors in determining the stem diameter at different elevations increase regularly with increasing the height of measurement. The errors at the bottom undercrown part of the stem are in acceptable limits. The mean measurement errors of diameters for all trees is less than $\pm 3\%$ in all cases. Diameters measured with Field-Map technology on different fixed heights allow us to determine the stem volume of standing tree with acceptable taxation accuracy. Accuracy increases significantly when determining the volume by summing the volumes of sections, on which stem can be divided according to the results of measurement of the diameters. The mean error is $\pm 1,33\%$. Using function of the Field-Map complex the volume is determined with less accuracy, the mean error is $\pm 2,07\%$. The results of the study indicate that Field-Map technology can be effectively applied in the development of stem volume tables of standing trees in the urban environment.

Keywords: urban plantings, volume tables, taxation parameters, Field-Map technology

В современных условиях глобальной урбанизации неуклонно растет роль городских зеленых насаждений. На фоне повышения численности населения, масштабного загрязнения окружающей среды они призваны обеспечить благоприятную экологическую обстановку и комфортное проживание людей в крупных населенных пунктах. Хозяйственные мероприятия в городских лесах в первую очередь направлены на сохранение и улучшение средообразующих, санитарно-гигиенических, оздоровительных и рекреационных функций насаждений. Для повышения эффек-

тивности этих мероприятий недостаточно глазомерной оценки зеленых насаждений, а необходимо иметь актуальную и точную информацию об их количественных и качественных показателях. Такая информация может быть получена только с использованием специальной нормативной базы, разработанной для оценки деревьев и насаждений, произрастающих в условиях города. В настоящее время при ведении зеленого хозяйства используются в основном традиционные лесотаксационные нормативы, составленные для сомкнутых естественных насаждений. Корректность их применения

для оценки городских зеленых насаждений весьма сомнительна, так как рост и развитие деревьев в условиях города и сомкнутого насаждения резко отличаются. Отсутствие нормативов, в частности объемных и сортиментных таблиц, для городских насаждений связано в первую очередь с тем, что для их составления требуется большое количество данных, которые можно было получить только у срубленных деревьев. Это в условиях города практически невозможно. Следует также отметить, что видовой состав зеленых насаждений города, как правило, более разнообразный, чем лесных насаждений в данной местности. Это объясняется введением в систему озеленения интродуцентов, для которых в большинстве случаев отсутствуют и традиционные лесотаксационные нормативы.

В последние годы в лесотаксационную практику активно внедряются программно-измерительные комплексы, позволяющие получать необходимую информацию, в том числе о растущих деревьях [1–3]. Однако вопрос о возможности их использования для составления лесотаксационных нормативов (объемных и сортиментных таблиц) остается открытым.

Цель исследования

Оценить точность определения таксационных показателей растущих деревьев программно-измерительным комплексом (ПИК) на базе геоинформационной системы Field-Map и возможность его применения при разработке таблиц объемов стволов для городских насаждений.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований послужили деревья разных пород, произрастающие на различных участках городских лесов г. Екатеринбурга, на которых проводились хозяйственные мероприятия с рубкой деревьев.

Методической предпосылкой работы явилось использование ПИК на базе геоинформационной системы Field-Map для определения таксационных показателей растущих деревьев, в частности объема ствола. В его состав входят планшет Getac T800 с установленной ГИС Field-Map, дальномер-высотомер Laser Technology TruPulse 360°В и мерная вилка Masser BP Caliper. ПИК является автоматической системой сбора данных, позволяющей дистанционно определять расстояние до дерева, его высоту, параметры кроны (диаметр и протяженность), диаметры ствола на разных высотах

и ряд других показателей. Все измеряемые показатели деревьев в автоматическом режиме в реальном времени передаются в программу Field-Map на планшет Getac T800 по каналу связи Bluetooth и сохраняются в базе данных.

Для достижения поставленной цели с использованием ПИК у каждого отобранного для рубки дерева определялись его высота (Н) и диаметр ствола на разных высотах от основания дерева.

Согласно общепринятой в лесной таксации методике для определения основных таксационных показателей отдельного (срубленного) дерева, в частности его формы, объема и товарной структуры, диаметр ствола определяется на следующих высотных отметках: на высоте 1,3 м ($D_{1,3}$), на 1/4 высоты ($D_{1/4}$), 1/2 высоты ($D_{1/2}$), 3/4 высоты ($D_{3/4}$) и серединах одно- (при высоте дерева до 10–12 м) или двухметровых (при большей высоте дерева) секций, на которые может быть разделен ствол [4]. Эта методика обмера деревьев положена и в основу наших исследований. Однако у растущих деревьев развитие и габитус кроны не всегда позволяли измерить диаметр ствола строго на серединах таких секций. Измерения производились на тех высотных отметках, на которых от пункта наблюдения четко просматривался ствол. При таком положении ствол оказывался разделенным на секции разной длины: в нижней хорошо просматриваемой части ствола в большинстве случаев длина секций была короче одного (двух) метров, в верхней кроновой части, наоборот, длиннее. При этом измерения производились таким образом, чтобы общее количество секций всегда было не меньше, чем при делении ствола на секции одинаковой длины по указанной выше методике. Такой подход вполне оправдан, так как в нижней половине ствола сосредоточено около 80% древесины. В этой связи более детальная оценка этой зоны ствола, безусловно, повысит точность определения объема.

После рубки дерева производились соответствующие обмеры ствола по общепринятой в лесной таксации методике. В частности, на стволе рулеткой отмечались 1,3 м, относительные высоты (Н, Н, Н), середины одно- или двухметровых секций, на которых мерной вилкой измерялись диаметры с точностью 0,1 см. Определялись также длина срубленного дерева и его возраст.

В ходе исследования по вышеизложенной методике проведена таксация 24 учет-

ных деревьев трех пород (сосны, березы, осины). Все расчетные и графические работы производились в программе MS Office Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

В специальной литературе [5, 6] выделяют два основных направления, служащих теоретической основой математических методов определения объема ствола деревьев:

– математическое выражение образующей древесного ствола, при вращении которой вокруг оси симметрии образуется тело, равное по объему искомому стволу и имеющее аналогичную с ним форму;

– приравнивание формы ствола и его частей к форме тех или иных тел вращения.

Таким образом, в обоих направлениях ствол дерева рассматривается как тело вращения. Поэтому погрешности, возникающие при определении объема различными стереометрическими приемами, зависят от степени отклонения ствола или его частей от формы правильных тел вращения. В этой связи для повышения точности определения объема ствола он делится на короткие отрезки – секции, которые по своей форме в большей степени приближаются к формам усеченных тел вращения. В этом случае погрешности в определении объема ствола зависят в основном от точности определения площадей сечений (диаметров) и количества высотных отметок, на которых они измерены.

В соответствии с целевой установкой для оценки точности определения таксационных показателей ствола программно-измерительным комплексом производилось сопоставление соответствующих данных, полученных ПИК с результатами таксации срубленного дерева. При этом таксационные показатели, определенные при обработке срубленного дерева, принимались за истинные. На первом этапе исследований производилось сопоставление образующих ствола учетных деревьев, построенных по данным измерения диаметров ПИК и с использованием вышеописанной методики таксации срубленных деревьев. Такое сопоставление на примере учетного дерева № 3 на третьем объекте исследований (порода – береза, возраст – 35 лет, диаметр 9,3 см, высота – 12,50 м) показано на рисунке. Выявляется, что представленные на этом рисунке образующие очень близки по форме. Положения и взаимные пересечения их на разных высотах ство-

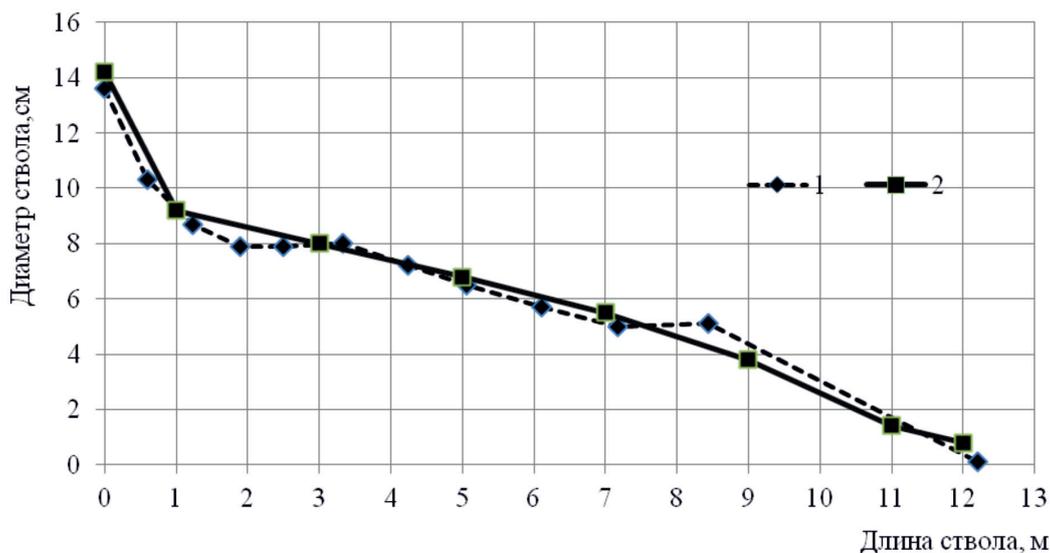
ла позволяют констатировать отсутствие серьезных систематических отклонений между образующими, построенными по данным ПИК и таксации срубленного дерева. Аналогичные результаты были получены по остальным учетным деревьям. Таким образом, результаты измерения диаметра ствола указанным комплексом дают достаточно точное представление о сбеге и форме стволов.

Точность определения объема ствола зависит от точности измерения его диаметров на соответствующих высотных отметках и высоты. Причем при одинаковой относительной точности измерения диаметра и высоты величина погрешности в объеме от погрешности измерения диаметра в два раза больше, чем от погрешности измерения высоты [4].

Поэтому с учетом того, что на точность определения объема влияют многие факторы (применяемые методы определения, число измерений и т.д.), ошибка в определении этого показателя, вызываемая неточностью измерения диаметров ствола, должна быть сведена к минимуму.

В этой связи вторым этапом исследований явилась оценка точности измерения диаметра ствола растущего дерева ПИК на конкретных высотных отметках. Для этого производилось сопоставление диаметров ствола, измеренных данным комплексом, с диаметрами (истинными), определенными после рубки дерева. Оно сопровождалось вычислением систематических и среднеквадратических ошибок. Были определены ошибки измерения ПИК диаметров ствола $D_{1/4}$, $D_{1/2}$ и $D_{3/4}$. Ход и результаты этих исследований на примере $D_{1/4}$ представлены в табл. 1. Анализ данных табл. 1 показывает, что относительные отклонения $D_{1/4}$ измеренного ПИК, от истинного значения этого показателя варьируют в достаточно широких пределах – от 0,05 до 17,53%. Причем подавляющее большинство измерений (около 67%) имеет отклонения, не превышающие $\pm 5\%$. Рассчитанные на основе данных табл. 1 систематическая ошибка измерений составляет – 1,09%, а среднеквадратическая – $\pm 6,56\%$.

Следует отметить, отклонения по двум учетным деревьям (дерево № 3 на объекте № 2 и дерево № 5 на объекте № 3) существенно превышают отклонения по другим деревьям. Если эти отклонения признать грубыми и исключить из дальнейших расчетов, то среднеквадратическая ошибка измерений составит всего $\pm 4,38\%$.



Образующие ствола, построенные по данным: 1 – программно-измерительного комплекса, 2 – таксации срубленного дерева

Таблица 1

Вычисление ошибок измерения $D_{1/4}$ ПИК

№ участка	№ дерева	$D_{1/4}$ (см) измеренный		Расчет ошибок измерения, %		
		на срубленном дереве	на растущем дереве ПИК	отклонения	отклонения исправленные	квадраты отклонений
2	1	18,4	18,6	1,04	2,14	4,57
2	2	18,6	18,5	-0,84	0,25	0,06
2	3	14,43	16,89	17,03	18,12	328,36
2	4	24,7	27,2	9,97	11,07	122,47
2	5	17,7	18,1	2,15	3,24	10,52
2	6	12,3	11,7	-5,32	-4,22	17,84
2	7	21,4	21,9	2,42	3,51	12,35
3	6	25,8	26,4	2,31	3,40	11,56
3	7	25,3	25,3	0,05	1,14	1,30
3	8	21,2	20,1	-5,19	-4,10	16,77
3	9	17,4	17,9	2,65	3,75	14,04
3	10	20,2	20,8	2,73	3,82	14,60
1	6	26,0	25,6	-1,38	-0,29	0,08
3	1	15,5	14,7	-4,76	-3,66	13,41
3	2	14,4	14,1	-2,58	-1,49	2,22
3	3	7,9	8,0	0,64	1,73	3,00
3	4	15,6	15,8	1,29	2,39	5,69
3	5	7,76	6,40	-17,53	-16,44	270,22
4	1	17,2	16,5	-4,03	-2,93	8,60
4	2	51,7	48,1	-6,94	-5,85	34,25
4	3	14,8	14,0	-5,62	-4,53	20,54
4	4	14,4	13,0	-9,78	-8,69	75,49
4	5	37,7	36,9	-2,12	-1,03	1,06
4	6	12,7	12,4	-2,42	-1,33	1,76
		Итого:	-	-68,52	-54,56	990,79
			+	42,29	54,56	

Таблица 2

Ошибки измерений $D_{1/4}$, $D_{1/2}$ и $D_{3/4}$ ПИК

Показатель	Ошибки измерений, %		
	систематическая	среднеквадратическая	средняя
$D_{1/4}$	-1,17	± 4,38	± 0,93
$D_{1/2}$	-3,65	± 7,55	± 1,58
$D_{3/4}$	0,36	± 11,82	± 2,52

Подобные исследования были проведены также по диаметрам, измеренным на 1/2 высоты ($D_{1/2}$) и 3/4 высоты ($D_{3/4}$). Результаты их приведены в табл. 2.

Анализируя данные, приведенные в табл. 2, можно отметить следующее. При измерении диаметра ствола ПИК систематические ошибки незначительны. Их величины удовлетворяют самым высоким требованиям. Среднеквадратическая ошибка измерений диаметра ствола закономерно повышается по мере продвижения вверх по стволу. В первую очередь это связано с условиями визирования, которые в верхней части ствола заметно ухудшаются из-за слабой его просматриваемости в кроновой части. Следует отметить, что указанная особенность изменения точности измерения диаметров ствола не может оказать существенного влияния на точность определения объема: в нижней половине ствола, объем которой составляет более 80% от общего, погрешности определения диаметров вполне удовлетворяют таксационным требованиям. Средняя ошибка измерений по всем учетным деревьям во всех случаях меньше 3%.

Следующий этап исследований был посвящен оценке точности измерения ПИК высоты ствола растущих деревьев. Работа производилась по алгоритму, использованному при оценке точности измерения диаметров. Выявлено, что относительные отклонения высоты, измеренной программным комплексом, от истинного значения этого показателя варьируют в достаточно узком диапазоне – от 0,11 до 5,79%. Точность измерения высоты соответствует самым строгим требованиям: систематическая ошибка составляет 1,02%, среднеквадратическая ± 3,06%, а средняя по всем учетным деревьям всего ± 0,65%. Таким образом, высота деревьев измерительным комплексом определяется значительно точнее, чем диаметры на различных высотных отметках.

Погрешности в измерении диаметров ствола на разных высотных отметках и высоты деревьев обуславливают ошибки в определении их объемов. Поэтому на заключительном этапе нами произведена оценка точности определения ПИК объема стволов. С этой целью для каждого учетного дерева определялись объемы ствола тремя способами: по секциям на основе измерения диаметров ствола растущего дерева измерительным комплексом, по специальной функции ПИК, позволяющей в автоматическом режиме определять объем и по секционной формуле Губера после рубки дерева.

При первом способе объем ствола определялся так же, как и по формуле Губера, – суммированием объемов секций. Однако секции были разной длины. Поэтому в камеральных условиях находились их середины, на которых определялись диаметры методом интерполяции. С учетом того, что секции были небольшой длины, особенно в нижней половине ствола, такой подход вполне оправдан. Объем отдельно взятой секции определялся умножением ее длины на площадь поперечного сечения на середине. При оценке точности определения объема ствола первыми двумя способами за истинные принимались объемы, определенные после рубки дерева по сложной формуле Губера. Результаты соответствующих расчетов приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют, что объемы стволов значительно точнее определяются первым способом – суммированием секционных объемов, определяемых на основе диаметров, измеренных ПИК. Определение объема этим способом обеспечивает вполне приемлемые результаты: систематическая ошибка составляет всего 2,83%, среднеквадратическая – ± 6,54%, а средняя ошибка по 24 учетным деревьям – ± 1,33%. В целом значения этих ошибок очень близки к ошибкам измерения диаметров стволов в нижней их половине при помощи ПИК.

Таблица 3

Ошибки определения объема ствола ПИК

Показатель	Ошибки измерений, %		
	систематическая	среднеквадратическая	средняя
Объем по секциям на основе измерения диаметров ствола ПИК	-2,83	± 6,54	± 1,33
Объем ствола по специальной функции ПИК	-5,22	± 10,11	± 2,07

С использованием функции ПИК объемы стволов определяются с меньшей точностью. Обращает на себя внимание величина систематической ошибки (-5,22%), которая свидетельствует о значительном систематическом преуменьшении объемов. Значения среднеквадратической и средней ошибок заметно выше, чем при первом способе. Причиной этого, на наш взгляд, является отсутствие универсального уравнения, точно передающего характер образующих древесных стволов. Известно, что вследствие влияния на форму древесных стволов большого числа факторов, их образующие непостоянны и неправильны, на всем протяжении ствола не могут быть представлены одной аналитической кривой.

Заключение

Результаты проведенного исследования позволили оценить точность определения различных таксационных показателей растущих деревьев при помощи ПИК. Установлено, что точность определения высоты деревьев удовлетворяет самым строгим требованиям: относительные отклонения высоты от истинного значения этого показателя варьируют в пределах от 0,11 до 5,79%, систематическая ошибка измерений составляет 1,02%, среднеквадратическая – ± 3,06%, а средняя по всем учетным деревьям – ± 0,65%.

Ошибки в определении диаметров ствола на разных высотных отметках закономерно повышаются по мере увеличения высоты измерения. В нижней подкороновой части ствола они находятся во вполне допустимых пределах. Средние ошибки измерения диаметров по всем учетным деревьям во всех случаях меньше ± 3%.

На основе измерения с помощью ПИК диаметров на разных фиксированных высотных отметках с приемлемой для таксационных работ точностью определяется объем стволов растущих деревьев. Причем точность заметно повышается при определении объема путем суммирования объемов секций, на которые может быть разделен ствол по результатам измерения диаметров. Систематическая ошибка составляет всего 2,83%. С помощью функции

ПИК объем определяется с меньшей точностью, величина систематической ошибки составляет 5,22%, что свидетельствует о систематическом занижении объемов. В целом приведенные материалы свидетельствуют, что ПИК может эффективно применяться при разработке таблиц объемов стволов без рубки деревьев. Это обстоятельство, безусловно, расширяет перспективы создания нормативной базы для таксации и инвентаризации городских насаждений.

Список литературы

1. Букша И.Ф. Применение полевой ГИС-технологии Field-Map в ландшафтном строительстве для инвентаризации и картирования городских зеленых насаждений / И.Ф. Букша, В.П. Пастернак, Т.С. Пивовар, М.И. Букша // Современное состояние и перспективы применения ГИС-технологий и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве и садово-парковом строительстве. Особенности преподавания данных дисциплин в высших и средних учебных заведениях: сб. статей. – Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 93–100.
2. Вишнеvский В.С. Полевые испытания ГИС Field-Map / В.С. Вишнеvский // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 5–6. – С. 74–75.
3. Черны М. Передовые технологии для полевого сбора данных в лесном хозяйстве / М. Черны, И.Ф. Букша, М.И. Букша // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 2. – С. 62–65.
4. Захаров В.К. Лесная таксация: учебник для специальности «Лесное хоз-во» высших учебных заведений / В.К. Захаров. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 406 с.
5. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев: моногр. / Г.Б. Кофман. – Новосибирск: Наука, 1986. – 210 с.
6. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели: моногр. / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 207 с.

References

1. Buksha I.F. Primenenie polevoj GIS-tehnologii Field-Map v landshaftnom stroitelstve dlja inventarizacii i kartirovanija gorodskih zelenyh nasazhdenij / I.F. Buksha, V.P. Pasternak, T.S. Pivovarov, M.I. Buksha // Sovremennoe sostojanie i perspektivy primeneniya GIS-tehnologii i ajerokosmicheskikh metodov v lesnom hozjajstve i sadovo-parkovom stroitelstve. Osobennosti prepodavanija dannyh disciplin v vysshih i srednih uchebnyh zavedenijah: sb. statej. Joshkar-Ola: Marijskij gos. tehn. un-t, 2008. pp. 93–100.
2. Vishnevskij V.S. Polevye ispytaniya GIS Field-Map / V.S. Vishnevskij // Oborudovanie i instrument dlja professionalov. 2009. no. 5–6. pp. 74–75.
3. Cherny M. Peredovye tehnologii dlja polevogo sbora dannyh v lesnom hozjajstve / M. Cherny, I.F. Buksha, M.I. Buksha // Oborudovanie i instrument dlja professionalov. 2009. no. 2. pp. 62–65.
4. Zaharov V.K. Lesnaja taksacija: uchebnik dlja specialnosti «Lesnoe hoz-vo» vysshih uchebnyh zavedenij / V.K. Zaharov. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Lesnaja promyshlennost, 1967. 406 p.
5. Kofman G.B. Rost i forma derevev: monogr. / G.B. Kofman. Novosibirsk: Nauka, 1986. 210 p.
6. Kuzmichev V.V. Zakonomernosti dinamiki drevostoev: principy i modeli: monogr. / V.V. Kuzmichev. Novosibirsk: Nauka, 2013. 207 p.