

УДК 528.063.3, 630*614

К. Н. Бусел, аспирант (БГТУ)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ GPS- И БУССОЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЛЕСНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Статья посвящена проблеме определения сравнительной точности буссольной и GPS-съемки в автономном и относительном режимах под пологом древостоя приемниками Trimble R3 и Garmin GPSmap 60C. Сравнительная точность буссольной и GPS-съемки была определена для 31 лесосеки. Точность определения площади лесосек при буссольной съемке в среднем составляет 1,5%, СКО 7,5% от автономного определения приемником Trimble R3, а приемником Garmin – в среднем –5,7%, СКО 30,1%. Точность определения площади лесосек при буссольной и автономной GPS-съемке приемниками Trimble R3 и Garmin отличается на –3,5%, СКО 14,3%; 0,3%, СКО 1,1%; –0,5%, СКО 5,0%, соответственно от относительного определения приемником Trimble R3.

This article deals with the problem of comparative precision of traversing and GPS positioning by receivers Trimble R3 and Garmin GPS map 60C under the forest canopy. The comparative precision of traversing and GPS positioning was determined for a total of 31 parcels. The parcel area difference determined by traversing and by Garmin or by Trimble R3 autonomous positioning is about 1,5%, SD 7,5% and –5,7%, SD 30,1% respectively. The same measure differs for traversing, Garmin and autonomous Trimble R3 positioning from differential phase Trimble R3 positioning –3,5%, SD 14,3%; 0,3%, SD 1,1% and –0,5%, SD 5,0% respectively.

Введение. Определением эффективности различных методов лесной съемки занимались как зарубежные, так и белорусские исследователи [1–7]. Существует множество факторов, которые влияют на эффективность того либо иного метода геосъемки. Среди них стоимость работ, точность используемых инструментов, количество вершин, размер и форма выдела.

Лиу показал, что дифференциальный метод GPS-съемки (DGPS) является экономически эффективным методом измерения площадей участков. По его данным DGPS-съемка при движении мерщика по границе участка позволяет получить более точное значение площади древостоя, чем при использовании традиционной буссольной съемки.

Леннарт Бондэссон, сравнив точность буссольной и GPS-съемки теоретически и на практике, пришел к выводу, что стандартная ошибка для двух методов часто одинаковой величины, но на выбор предпочтительного метода влияет форма и размер участка. Если необходимо добиться небольшой относительной стандартной ошибки при измерении выдела большого размера с прямыми и длинными сторонами, GPS-позиционирование может быть эффективным методом, в то время как для выдела малого размера он неэффективен в сравнении с буссольной съемкой. При использовании буссольной съемки и точных инструментов может быть получена очень маленькая стандартная ошибка для выдела среднего размера.

Авторы [5, 8–10] показали, что тип приемника и метод позиционирования являются значимыми факторами. Было определено, что приемник ГИС-класса Pathfinder Pro XR оценивал площадь точнее, чем прибор навигационного класса GPSMAP 76S, и применение дифферен-

циальных поправок (DGPS) позволило оценить площадь точнее, чем автономное позиционирование. Pathfinder Pro XR определял площадь с ошибкой $\pm 1,0\%$ с использованием либо без использования DGPS. С другой стороны, GPSMAP 76S определял площадь с ошибкой +3,7% при использовании DGPS и с ошибкой –9,0% без дифференциальных поправок.

В представляемом ниже исследовании были проведены полевые опыты для определения сравнительной точности буссольной и GPS-съемки в автономном и относительном режимах.

Объекты и методы исследования. Опытные данные для настоящего исследования были собраны в лесах Сморгонского и Светлогорского лесхозов и представляют собой материалы буссольной и GPS-съемки лесосек главного пользования. Объем опытного материала – 31 лесосека. Из них в Сморгонском лесхозе измерено 10, а в Светлогорском – 21 лесосека.

При выполнении данной работы использовались приемники Trimble R3 и Garmin GPS map 60C. Съемка велась в автономном и относительном режимах. Приборы были настроены на получение данных 1 раз в секунду. Согласно с рекомендациями [8, 9, 10–16], продолжительность съемки на точке в автономном режиме была принята равной 3 мин, что составляет 180 наблюдений.

При относительном позиционировании стандартные настройки быстростатической съемки были изменены из соображений экономии времени, а также эффективности сбора данных: время съемки на точке было уменьшено до 5 мин, так как под пологом древостоя количество видимых спутников часто уменьшается, что приводит к сбросу наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

**Стандартные и использованные настройки
GPS-приемника Trimble R3**

Показатель	Стандартные настройки	Использованные настройки
Интервал между наблюдениями, с	15	2
Маска PDOP	6	8
Количество отсчетов при числе спутников		
4 спутника	120	150
5 спутников	100	150
6 и > спутников	80	150

Маска PDOP (Position Dilution Of Precision – фактор падения позиционной точности, зависит от конфигурации спутникового созвездия) подвижного приемника была установлена равной 8, так как по данным зарубежных авторов [10, 12] увеличение порогового значения PDOP выше рекомендованного производителем оказывает незначительный эффект на точность позиционирования под пологом леса, но на деле увеличивает эффективность сбора данных. Базовая станция находилась на расстоянии менее 12 км. Частота сбора данных базовой станцией была установлена равной 1 с.

Площади лесосек, измеренные различными методами, были сравнены между собой.

Результаты и обсуждение. В табл. 2 представлены результаты буссольной и GPS-съемки лесосек в Сморгонском лесхозе. За наиболее точное значение площади было принято полученное с использованием приемника Trimble R3 в автономном режиме [17].

Следует отметить, что съемка лесосек в Сморгонском лесхозе велась только в автономном режиме. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что сравнительная точность определения площади лесосек при буссольной и GPS-съемке

приемником Trimble R3 лежит в пределах от – 8,9% до 16,0%. Среднее отклонение составляет 1,5%, а стандартное отклонение – 7,5% от значений площади, определенных в автономном режиме приемником Trimble R3. Сравнительная точность определения площади лесосек при буссольной и GPS-съемке приемником Garmin ранжирует в пределах от –68,8% до 39,3%. Среднее отклонение составляет –5,7%, а СКО – 30,1%.

На рис. 1 представлен план одной из лесосек главного пользования, отснятых в лесах Сморгонского лесхоза (лесосека 1 в табл. 2).

Как видно на рис. 1, линия буссольного хода хорошо совпадает с линией автономного GPS-позиционирования приемником Trimble R3. Небольшие отклонения в северо-западной части можно объяснить постепенным накоплением угловой и абсолютной ошибок при буссольной съемке. Линия контура лесосеки, полученная с использованием прибора Garmin, несколько хуже согласуется с изображением буссольного хода.

В табл. 3 представлена сравнительная точность определения площади при буссольной и GPS-съемке различными приемниками в лесах Светлогорского лесхоза.

Таблица 2

**Сравнительная точность буссольной и GPS-съемки
в ГОЛХУ «Сморгонский опытный лесхоз»**

Лесосека	Площадь, га			Отклонения, %	
	Буссоль	Trimble автоном.	Garmin	Буссоль	Garmin
1	3,47	3,51	3,98	–1,0	13,5
2	3,98	3,62	2,35	9,8	–35,1
3	2,77	2,59	2,67	7,3	3,4
4	1,20	1,04	0,32	16,0	–68,8
5	1,75	1,71	2,38	2,8	39,3
6	1,72	1,80	1,60	–4,5	–11,0
7	1,31	1,35	1,10	–2,6	–18,8
8	1,90	2,08	2,00	–8,9	–3,9
9	3,09	3,12	3,42	–1,1	9,4
10	2,94	3,03	3,47	–2,9	14,6
Среднее				1,5	–5,7
СКО				7,5	30,1

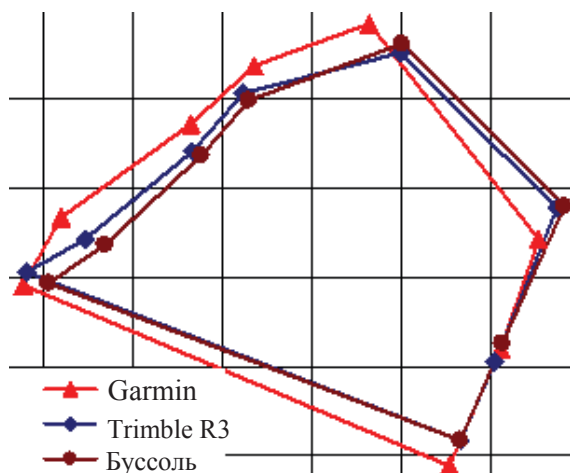


Рис. 1. Лесосока главного пользования Сморгонского лесхоза

GPS-позиционирование лесосек в автономном режиме было произведено дважды. За наиболее точное значение площади было принято полученное с использованием приемника Trimble R3 в относительном режиме [17].

По данным табл. 3 точность определения площади лесосек при буссольной съемке, а также при автономной GPS-съемке приемниками Trimble R3 и Garmin отличается от значений площади, полученных при относительном позиционировании в среднем на $-3,5\%$;

$0,3\%$; $-0,5\%$, соответственно, а СКО отклонений равно $14,3\%$; $1,1\%$; $5,0\%$, соответственно.

Данные автономного позиционирования прибором Trimble хорошо согласованы между собой. Ошибка определения площади приемником Garmin в среднем сопоставима с ошибкой при буссольной съемке.

На рис. 2 изображен план одной из лесосек главного пользования, отснятых в Светлогорском лесхозе (лесосока 17 в табл. 3).

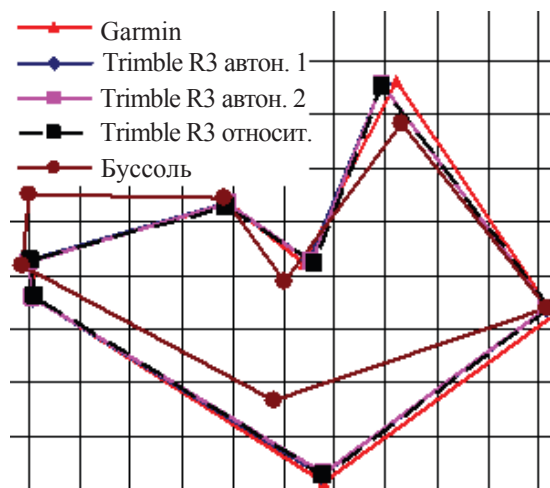


Рис. 2. Лесосока главного пользования Светлогорского лесхоза

Таблица 3

Сравнительная точность буссольной и GPS-съемки в ГЛХУ «Светлогорский лесхоз»

Лесосока	Площадь, га				Отклонения, %				
	Буссоль	Trimble			Garmin	Буссоль	автон. 1	автон. 2	Garmin
		автон. 1	автон. 2	дифф.					
11	1,13	1,23	1,25	1,23	1,21	-7,9	0,4	1,6	-1,6
12	0,50	0,44	0,43	0,45	0,44	12,3	-1,1	-2,8	-1,2
13	1,32	1,30	1,31	1,30	1,24	1,4	0,0	1,2	-4,5
14	1,55	1,51	1,51	1,50	1,48	3,3	0,8	0,5	-0,9
15	2,31	3,02	3,01	2,99	2,75	-22,8	0,9	0,4	-8,3
16	5,20	4,67	4,65	4,69	4,68	10,8	-0,5	-0,8	-0,4
17	6,57	8,30	8,26	8,18	8,69	-19,7	1,4	0,9	6,2
18	0,59	0,72	0,72	0,73	0,68	-18,8	-1,1	-1,1	-7,4
19	1,72	2,30	2,28	2,26	2,07	-24,1	1,5	1,0	-8,5
20	1,26	1,26	1,28	1,26	1,22	-0,5	-0,1	1,3	-3,9
21	3,51	4,36	4,34	4,28	4,77	-17,9	2,0	1,4	11,6
22	3,06	3,94	3,92	3,91	3,92	-21,8	0,9	0,3	0,2
23	2,93	3,55	3,56	3,55	3,68	-17,3	0,1	0,3	3,7
24	2,69	3,16	3,14	3,09	3,22	-12,9	2,4	1,7	4,3
25	2,59	2,77	2,75	2,76	2,70	-6,0	0,5	0,0	-2,1
26	5,08	4,65	4,65	4,69	4,52	8,3	-0,9	-0,8	-3,6
27	5,29	4,67	4,69	4,60	4,62	14,9	1,5	1,9	0,3
28	4,25	3,66	3,65	3,65	3,84	16,2	0,2	-0,2	5,2
29	3,41	3,23	3,22	3,22	3,30	5,9	0,2	-0,2	2,2
30	4,47	3,97	3,98	3,98	4,00	12,4	-0,2	0,1	0,5
31	3,90	3,51	3,49	3,54	3,49	10,3	-0,7	-1,5	-1,3
Среднее						-3,5	0,4	0,2	-0,5
СКО						14,3	1,0	1,2	5,0

Линия буссольного хода на рис. 2 весьма плохо согласуется с линией автономного и относительного GPS-позиционирования. Наблюдаются значительные отклонения во всех частях рисунка, которые можно объяснить только небрежно выполненной буссольной съемкой.

На наш взгляд, отличия в значениях площади, полученных различными методами, могут быть объяснены следующим образом: абсолютная точность приемника Trimble R3 в автономном и относительном режиме равна соответственно 4 ± 2 м и 2 ± 2 м, а Garmin – 10 ± 5 м [17]; отсутствием в приемнике Garmin GPS map 60C системы подавления переотраженного сигнала, переход из режима 3D в 2D навигации в связи с уменьшением количества видимых спутников также наложили свой отпечаток.

Следует отметить, что большинство решений базовых линий при относительной съемке были плавающими. Решение фазовой неопределенности считается фиксированным, когда программой обработки GPS-наблюдений найдены целочисленные значения длин волн, укладывающихся на пути от антенны спутника до антенны приемника. Фиксированные решения, считающиеся наиболее точными, были определены для точек, находящихся в основном у стены леса, на квартальной просеке либо под разреженным пологом. Количество фиксированных решений составило 22% от общего количества. Исследования [9] показывают, что сложность фазового позиционирования в лесных условиях заключается в невысокой вероятности получения фиксированного решения, а также в сложности отбраковки настоящего фиксированного решения от ложного.

Успешность получения фиксированного решения зависит от следующих факторов:

- продолжительности съемки на точке – при увеличении периода наблюдений возрастает вероятность получения фиксированного решения;

- совершенства используемого для обработки базовых линий программного обеспечения (ПО) (более новое ПО имеет более совершенные алгоритмы, позволяющие надежно обрабатывать данные);

- опытности оператора – в некоторых случаях ручная коррекция исходных данных позволяет изменить тип решения базовой линии и тем самым повысить точность.

Что касается точности буссольной съемки, то в большинстве случаев угловая и абсолютная невязка хода превышали допустимые значения [18] (до 9° и до 73 м, соответственно).

Выводы. По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- сравнительная точность GPS-позиционирования лесосек приемником Trimble R3 как в автономном ($-3,5\% \pm 14,3\%$ против $-0,3\% \pm 1,1\%$), так и в относительном режимах выше буссольной съемки;

- площади, определенные по результатам автономной GPS-съемки приемником Trimble, хорошо согласованы между собой и отличаются от значений, полученных в ходе относительной съемки в среднем на 0,3% со стандартным отклонением около 1,1%;

- сравнительная точность определения площади лесосек прибором навигационного класса Garmin GPS map 60C по результатам GPS-съемки в Светлогорском лесхозе выше буссольной съемки ($-0,5\% \pm 5,0\%$ против $-3,5\% \pm 14,3\%$);

- по нашему мнению, GPS-приемники как геодезического, так и ГИС-класса с успехом могут быть использованы для съемочных работ в лесном хозяйстве.

Литература

1. Bondensson, L. Standard Errors of Area Estimates Obtained by Traversing and GPS / L. Bondensson, G. Ståhl, H. Sören // For. Sci. – 1998. – Vol. 44 (3). – P. 405–413.
2. Liu, C. J. Using differential GPS for forest traverse surveys / C. J. Liu, R. Brantigan // Can. J. For. Res. – 1995. – Vol. 11. – P. 1795–1805.
3. Oderwald, R. G. GPS after selective availability: How accurate is accurate enough? / R. G. Oderwald, B. A. Boucher // J. For. – 2003. – Vol. 101 (4). – P. 24–27.
4. Efficiencies of Traditional and Digital Measurement Technologies for Forest Operations / J. Kiser [et al.] // West. J. Appl. For. – 2005. – Vol. 2. – P. 138–143.
5. Effects of polyline simplification of dynamic GPS data under forest canopy on area and perimeter estimations / Y. Tachiki [et al.] // J. For. Res. – 2005. – Vol. 10. – P. 419–427.
6. Нестеренок, В. Ф. Определение площадей лесонасаждений спутниковой съемкой / В. Ф. Нестеренок // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. – 2006. – Вып. XIV – С. 63–65.
7. Буй, А. А. Использование GPS-навигатора для лесной съемки / А. А. Буй // Лесное и охотничье хозяйство. – 2007. – № 3. – С. 22–25.
8. Naesset, E. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy / E. Naesset // Can. J. For. Res. – 1999. – Vol. 29. – P. 547–553.
9. Naesset, E. Contributions of Differential GPS and GLONASS Observations to Point Accuracy under Forest Canopies / E. Naesset // Photo-

gram. Eng. Rem. Sens. – 2000. – Vol. 66 (4). – P. 403–407.

10. Performance of a differential GPS in dynamic mode under sitka spruce canopies / N. M. Holden [et al.] // Int. J. For. Eng. – 2002. – Vol. 13. – P. 33–40.

11. The effects of peripheral canopy on DGPS performance on forest roads / A. A. Martin [et al.] // International Journal of Forest Engineering. – 2001. – Vol. 12 (1). – P. 71–79.

12. Sigrist, P. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements / P. Sigrist, P. Coppin, M. Hermy // Int. J. Rem. Sens. – 1999. – Vol. 18. – P. 3595–3610.

13. Deckert, C. Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy / C. Deckert, P. V. Bolstad // Photogramm. Eng. Rem. Sens. – 1996. – Vol. 3. – P. 317–321.

14. Hasegawa, H. Application of dual-frequency GPS receivers for static surveying under tree cano-

pies / H. Hasegawa, T. Yoshimura // J. For. Res. – 2003. – Vol. 8. – P. 103–110.

15. Positioning precision and sampling number of DGPS under forest canopies / I. Sawaguchi [et al.] // J. For. Res. – Vol. 8. – 2003. – P. 133–137.

16. Piedallu, C. Effects of forest environment and survey protocol on GPS accuracy / C. Piedallu, J. Gegout. // Photogramm. Eng. Rem. Sens. – 2005. – Vol. 9. – P. 1071–1078.

17. Бусел, К. Н. Практическая точность относительных и автономных GPS-измерений под пологом древостоя / К. Н. Бусел, А. В. Денисенко // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2009. – Вып. 69. – С. 380–390.

18. Правила по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь: ТКП 060–2006 (02080). – Введ. 29.12.06. – Минск: Минлесхоз, 2006. – 66 с.

Поступила 14.04.2010