

А. А. Пушкин, ст. преподаватель; А. В. Денисенко, директор НПОДО «БелИнвестЛес»;
К. Н. Бусел, аспирант

ТОЧНОСТЬ ОТВОДА ЛЕСОСЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ GPS TRIMBLE R3

The main approaches of the foreign scientists are described to the problem of GPS positioning in forest environment, factors influencing accuracy and precision. Approximate formulae were used to forecast the errors of area and perimeter estimation of cutting area with square shape of 0,16 ha. The results of GPS positioning in both modes differential and absolute by Trimble R3 receiver of the cutting area in the Negoreloye forest enterprise are described. Area estimation error ranged from 0,9 to 9,9%, and of the perimeter – from 0,3 to 4,0% and which agrees with results of the foreign authors. No significant difference was found in the results of different modes of GPS survey. Because of intolerable errors of area and perimeter estimation of the number of additional points were introduced. Problems need to be conducted are named.

Введение. В п. 5.2.8 действующих Правил по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь [1] указано, что при отводе лесосек геодезическая съемка может выполняться с использованием GPS-приемников. Однако поскольку древесный полог препятствует прохождению радиосигналов [2–8], представляет большой интерес предварительное камеральное определение рациональности и эффективности применения GPS-приемников в тех или иных условиях.

В настоящее время в Беларуси отсутствует инструкция или рекомендации по проведению GPS-съемки в лесных условиях, поэтому целью данного исследования явилась оценка точности измерения площади лесосеки с использованием GPS-приемника Trimble R3, определение минимальной площади лесного участка, точность измерения которого GPS-приемником будет допустимой.

Теоретическая часть. Работы зарубежных исследователей в сфере применения GPS-оборудования для целей лесного хозяйства и экологии начались еще в середине 80-х гг. [9]. Значимость этих работ в наше время невысока, так как они проводились до момента полного развертывания глобальной навигационной спутниковой системы GPS, а также в связи с усовершенствованием технических средств и появлением новых методов измерений [3].

В настоящее время выделились следующие основные направления.

1. Предварительная оценка точности GPS-съемки в зависимости от таксационных характеристик древостоев [3, 5, 6] для определения эффективности и рациональности использования технологии спутникового позиционирования в различных лесных условиях. Е. Наессет в своей работе [5] анализирует ошибки позиционирования, полученные при кодовых и фазовых GPS-измерениях в древостоях, отличающихся по составу, средней высоте и сумме площадей сечений. В результате исследования было предложено для предварительной оценки точности GPS-измерений использовать регрессионное уравнение следующего вида:

$$\ln D = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln G + \beta_2 \ln H_L + \beta_3 \ln t + \beta_4 \ln PDOP, \quad (1)$$

где D – ошибка позиционирования, м; β_0 – β_4 – коэффициенты уравнения при соответствующих членах; G – сумма площадей сечений древостоя, м²/га; H_L – средняя высота древостоя по Лоррею, м; t – длительность периода наблюдений, мин; PDOP (Position Dilution of Precision) – индекс позиционного фактора потери точности (безразмерная величина).

Х. Хасегава и Т. Йошимура [3] предлагают оценивать эффективность использования GPS-оборудования в тех или иных условиях через вероятность разрешения неоднозначности при фазовых измерениях с помощью уравнения

$$\log \left(\frac{p}{1-p} \right) = \beta_0 + \beta_1 CO + \beta_2 t, \quad (2)$$

где p – вероятность разрешения неоднозначности по фазе; β_0 – β_2 – коэффициенты уравнения при соответствующих членах; CO – индекс разрозненности полого древостоя, %.

2. Другим не менее важным направлением является применение различных методик обработки GPS-данных для повышения их точности [4, 8], а также оценка точности съемки лесных участков с использованием GPS-приемников различных производителей [8, 10].

В некоторых работах исследователи проверяли влияние различных методик обработки [4], а также корректировки GPS-данных (прием дифференциальных поправок) на точность определения площади и периметра участков леса [8, 10, 11].

3. В отечественных и российских литературных источниках описаны методы оценки среднеквадратической ошибки (СКО) определения площади в зависимости от точности используемых приборов, величины участков и их геометрической формы [2, 12].

Приблизительную СКО определения площади m_s по данным спутникового позиционирования предлагается оценивать исходя из выражения [2]:

$$m_S = m_{xy} \sqrt{\frac{8tS}{n}}, \quad (3)$$

где m_{xy} – среднеквадратическая погрешность определения координат, м; t – число контуров; S – площадь участка, м²; n – количество дополнительно позиционируемых на контуре точек.

Следует отметить, что зависимость (3) получена теоретическим путем исходя из некоторых допущений.

В других литературных источниках [13] абсолютную и относительную СКО площади предлагается вычислять по формулам:

$$m_S = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{n}\right)}{\sqrt{2n}} m_{xy} L, \quad (4)$$

$$\frac{m_S}{S} = 2\sqrt{2n} \sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right) \frac{m_{xy}}{L}, \quad (5)$$

где L – периметр участка, м.

СКО определения площади участка зависит от СКО координат его вершин, степени коррелированности координат, площади участка и его геометрии, т. е. от числа и расположения вершин. При этом, как следует из формулы (3), с увеличением числа вершин выражение под знаком корня, а значит, и СКО площади уменьшаются [12, 13].

Методика исследования. Для оценки СКО площади и периметра было произведено моделирование ошибок в двух вариантах. В первом варианте в координаты каждой вершины полигона вносили строго определенное отклонение $m_{xy} = 3$ м, после этого пересчитывали площадь и периметр полигона и сравнивали их с исходными данными с целью определить наибольшую ошибку. Во втором – ошибка вносилась в координаты с помощью функции обратного нормального распределения. Ее аргументами являются математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение и вероятность, которая изменяется в пределах от 0 до 1. В качестве математического ожидания использовалось значение исходной координаты, среднеквадратическое отклонение принималось рав-

ным 1 м. Изменения в данном варианте вносились 60 раз, после этого координаты усреднялись, далее снова пересчитывали площадь и периметр полигона и сравнивали их с исходными величинами.

Моделирование выполнялось на основе векторной карты Центрального лесничества ГУОЛХУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз», величина выделов и количество вершин которой варьирует в широких пределах (0,1–10 га и 4–241 соответственно).

Результаты моделирования показали, что при оценке максимальной ошибки площади формулы (3–5) дают хороший результат, в то же время при изменении ошибок по закону нормального распределения (в случае GPS-съемки) предварительная оценка СКО площади по формулам (3–5) получается завышенной на 45–100%. Величина относительной ошибки оценки площади при первом варианте моделирования лежит в пределах 0,2–7,2%, во втором – 0,0–2,0%, а для периметра – 0,0–1,4% и 0,0–0,9% соответственно.

Для определения влияния таких факторов, как площадь и количество вершин на величину ошибки при неизменной исходной геометрической форме были отобраны 3 участка, их размеры и количество точек позиционирования последовательно увеличивали. Расчеты показали, что при увеличении величины участка и количества точек позиционирования максимальная погрешность измерения площади уменьшается.

На величину относительной ошибки определения площади оказывает влияние и форма выдела, на что указывает корреляционное отношение, равное 0,58.

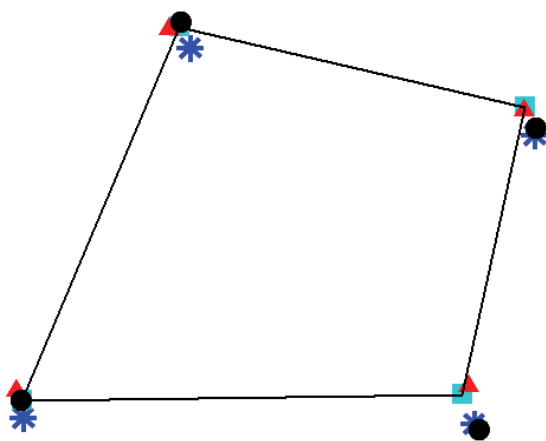
Примеры оценки ожидаемых погрешностей определения периметра и площади по формулам (3) и (4) приведены в табл. 1. Расчетами показано, что при среднеквадратической погрешности позиционирования 1 м при различном количестве вершин линейная и площадная невязки лесосеки размером 0,16 га не удовлетворяют требованиям руководящих документов [1, 14].

Объект исследований. Съемка производилась в 17-м выделе 50-го квартала Негорельского учебно-опытного лесхоза. Схема участка с нанесенными на него точками GPS позиционирования представлена на рисунке.

Таблица 1

Ожидаемая ошибка определения размеров лесосеки

Количество дополнительных точек, n	m_S , м	m_S / S , %	m_L , га	m_L / L , %
0	5,7	3,4	0,011	7,1
16	1,6	1,0	0,003	2,0
64	0,7	0,4	0,001	0,9
109	0,6	0,3	0,001	0,7



- ▲ Trimble R3, 15 с
- Trimble R3, 15 с
- * Trimble R3, 45 с
- Вершины буссольного хода

Рисунок. Схема участка

По данным таксации состав насаждения следующий: 8С1Е1Б + Ос, полнота – 0,8, средний возраст – 60 лет, средняя высота – 23 м. На выделе имеется подлесок средней густоты и подрост количеством 1,5 тыс. шт./га средней высотой 2 м.

На начальном этапе производилась буссольная съемка участка. Привязка буссольного хода выполнялась к точке на открытой местности, координаты которой были определены с помощью спутникового позиционирования с высокой точностью.

На втором этапе с помощью GPS-приемника Trimble R3 трижды определили координаты четырех вершин участка. Позиционирование на каждой вершине полигона длилось в первых двух случаях 15 с, а в третьем – 45 с. Погрешность позиционирования GPS-приемника Trimble R3, заявленная фирмой-изготовителем в документации, составляет $2m_{xy} < 3$ м (3 СКО). Следователь-

но, при вероятности 0,96 (2 СКО) погрешность $m_{xy} < 1$ м.

GPS-измерения проводили как в режиме приема дифференциальных поправок, так и в режиме абсолютного позиционирования. Данные GPS-съемки были экспортированы и обработаны на компьютере в среде Arc View GIS. Оценка площади и периметра участка представлена в табл. 2. Данные свидетельствуют, что по результатам GPS-позиционирования ошибка определения размеров участка во всех случаях недопустима и превышает допустимое значение в 2–12 раз. При этом существенной разницы между режимами съемки не обнаружено.

В то же время наибольшие ошибки определения площади и периметра хорошо согласуются с данными табл. 1 и результатами работы [7]. При продолжительности определения координат 15 с линейная невязка выше, чем при времени позиционирования в 45 с. Этот факт говорит о том, что точность GPS-съемки зависит от продолжительности позиционирования на точке, что подтверждается выводами зарубежных авторов [3–6]. Однако ввиду того, что GPS-съемка – вероятностный процесс, могут наблюдаться отклонения.

На последующем этапе было определено число и расстояние между дополнительными точками, позволяющими выйти на граничную ошибку для участков различной площади и периметра (табл. 3).

Заключение. Необходимо отметить, что GPS-снаряжение представляет множество преимуществ в сравнении с традиционными средствами, так как его вес значительно меньше; измерение с помощью GPS-приемников предотвращает появление накопленных ошибок, что необратимо при использовании классического геодезического оборудования; позволяет оперативно получать информацию.

Таблица 2

Ошибка определения площади и периметра участка лесонасаждения

Способ измерения	Площадь, м ²	Периметр, м	Отклонение от данных буссольного хода, %	
			площадь	периметр
Буссольная съемка	1639,8	165,4	–	–
Абсолютное позиционирование				
Trimble R3, 15 с	1783,6	171,2	8,8	3,5
Trimble R3, 15 с	1624,8	164,9	0,9	0,3
Trimble R3, 45 с	1665,6	166,6	1,6	0,7
Дифференциальный режим				
Trimble R3, 15 с	1801,7	171,9	9,9	4,0
Trimble R3, 15 с	1690,9	167,7	3,1	1,4
Trimble R3, 45 с	1674,0	166,3	2,1	0,6

Ожидаемая площадь лесосек, определяемых с удовлетворительной точностью

Количество дополнительных точек, n	Расстояние между точками, м	Периметр L , м	m_L , м	m_L / L , %	Площадь S , га	m_S , га	m_S / S , %
97	2	195,5	0,6	0,3	0,30	0,002	0,5
22	20	444,4	1,3	0,3	1,56	0,008	0,5
14	40	596,3	1,8	0,3	2,78	0,015	0,5
10	60	769,8	2,3	0,3	4,56	0,025	0,5

В связи с развитием технических средств и методов измерений появилась возможность выйти на субметровый уровень точности при GPS-позиционировании в условиях леса [3].

В целом для оценки эффективности использования GPS-оборудования в различных лесных условиях необходимо исследовать следующие вопросы:

1) зависимость ошибки определения площади (периметра) от величины участка, его геометрической формы, точности GPS-приемника и методов съемки;

2) влияние таких таксационных показателей древостоя, как состав, сумма площадей сечений, средняя высота и сомкнутость полога на точность GPS-позиционирования.

3) влияние длительности периода наблюдения на точность GPS-съемки.

Решив данные вопросы, можно приступать к разработке инструкции проведению GPS-съемки в лесных условиях.

Литература

1. Правила по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь. – Минск, 2006.

2. Нестеренок, В. Ф. Определение площадей лесонасаждений спутниковой съемкой / В. Ф. Нестеренок // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2006. – Вып. XIV – С. 63–65.

3. Hasegawa, H. Application of dual-frequency GPS receivers for static surveying under tree canopies / H. Hasegawa, T. Yoshimura // J. For. Res. – 2003. – Vol. 8. – P. 103–110.

4. Tachiki, Y. 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.

5. 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.

6. Hasegawa, H. Estimation of GPS positional accuracy under different forest conditions using signal interruption probability / H. Hasegawa, T. Yoshimura // J. For. Res. – 2007. – Vol. 12. – P. 1–7.

7. Sawaguchi, I. A study of the effects of stems and canopies on the signal to noise ratio of GPS-signals / I. Sawaguchi, Y. Saitoh, S. Tatsukawa // J. For. Res. – 2005. – Vol. 10. – P. 395–401.

8. Comparison of GPS receiver accuracy and precision in forest environments. Practical recommendations regarding methods and receiver selection: Shaping the Change X XIII FIG Congress Munich, Germany, October 8–13, 2006 / Rodríguez-Pérez J. R. [et al.]. – Munich, 2006.

9. Rodríguez-Solano Suárez, R. Las técnicas GPS como herramienta en la gestión ambiental / R. Rodríguez-Solano Suárez, Mancebo S. Quintana // Observatorio Medioambiental. – 1999. – Vol. 2. – P. 267–286.

10. Wing, M. G. Consumer-grade Global Positioning System (GPS) accuracy and reliability / M. G. Wing, A. Eklund, L. D. Kellogg // J. For. – 2005. – Vol. 4. – P. 169–9173.

11. Dauwalter, D. C. Mapping stream habitats with a Global Positioning System: accuracy, precision, and comparison with traditional methods / D. C. Dauwalter, W. L. Fisher, K. C. Belt // Env. manag. – 2005. – Vol. 37. – P. 271–280.

12. Брынь, М. Я. О точности вычисления площадей фигур по координатам вершин и длинам сторон / М. Я. Брынь // Геодезия и картография. – 2001. – № 5. – С. 37–41.

13. Инженерная геодезия: учеб. пособие для вузов / Е. Б. Ключин [и др.]; под общ. ред. Д. Ш. Михелева. – 4-е изд. – М.: Академия, 2004. – 480 с.

14. Инструкция по проведению лесоустройства государственного лесного фонда. – Минск, 2002.