

В. Ф. Нестеренок, доцент

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКОЙ

In this article the results of the theoretical analyses of the exactness of the defining of the area of the afforestations surveying their contour with the help of the GPS-receiver with the exactness of 4–5 meters.

**1. Общие сведения и обоснование методики GPS-съемки лесных контуров.** Экспериментальные спутниковые съемки контуров лесонасаждений в Негорельском учебно-опытном лесхозе выполнялись при помощи навигационного GPS-приемника. В навигационном приборе заложены возможности местоопределения в статическом режиме приема сигналов и в кинематическом режиме (в движении) с записью в процессор траекторий движения (треков). Статическое позиционирование для повышения точности следует длиться не менее 1–2 мин. Точность определения координат зависит от положения на небосводе видимых спутников, их количества (требуется не менее четырех) и степени затенения радиосигналов кронами деревьев.

Для статического (наиболее надежного) режима местоопределения следует иметь в виду, что в рассматриваемом GPS-приемнике угловое разрешение цифровых индикаторов широты и долготы  $\mu_\varphi = \mu_\lambda = 0,001'$ . Соответствующие линейные разрешения на местности равны: вдоль меридиана  $c_\varphi = 1,85$  м, перпендикулярно меридиану  $c_\lambda = 1,1$  м, позиционное разрешение в осях  $x$  и  $y$  близко к  $c_{xy} \approx 2,2$  м.

Точность прибора, обозначенная фирмой-изготовителем в документации к нему, следующая. При открытом небосводе (отсутствуют помехи радиосигналам спутников) погрешности позиционирования составляют  $2m_{xy} \leq 15$  м с вероятностью 0,95. При работе в зоне приема дополнительных дифференциальных сигналов от наземной базовой станции геоцентрические широта  $\varphi$  и долгота  $\lambda$  определяются с погрешностями  $2m_{xy} \leq 3-5$  м с вероятностью 0,95. Следовательно, при вероятности 0,68 погрешность  $m_{xy} \approx 2,2$  м и соответствует линейному разрешению прибора).

Реальная точность позиционирования снижается при неблагоприятной конфигурации созвездия рабочих спутников. Для повышения точности работ применяют их планирование на периоды, когда не менее 4-х видимых спутников максимально широко распределены в южном секторе небосвода и удалены от зенита.

Погрешности местоопределения возрастают также в зависимости от интенсивности затенения спутников кронами деревьев. При частичном затенении сигналов точность позиционирования снижается незначительно.

Но для проверки результата прибор перемещают вдоль контура на расстояния, кратные угловому разрешению. Анализируют изменения показаний прибора. В случаях неудовлетворительного приема сигналов или полного затенения прибор устанавливают над вспомогательной точкой, открытой для уверенного позиционирования.

Недостатки кинематического режима съемки в масштабе 1 : 10 000 состоят в следующем. Оператор непрерывно перемещает постоянно действующий навигационный GPS-приемник по контуру 1 (рис. 1) с минимальными отступлениями от него (до 2–5 м). Но реальные навигационные треки 2 (см. рис. 1) часто отклоняются от требуемой траектории, поскольку оператор вынужден обходить многообразные препятствия, а местами двигаться на значительном расстоянии от контура. Картографические результаты такой съемки получаются неудовлетворительными. Соответственно, недостоверны и результаты определения площади по программе процессора приемника.

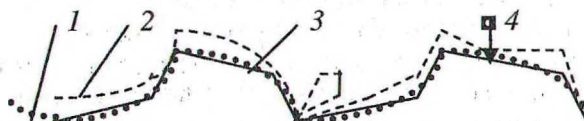


Рис. 1. GPS-съемки сложного контура:  
1 – контур; 2 – GPS-трек; 3 – ломаная линия точечной съемки; 4 – вспомогательная GPS-точка

Требуется проведение специальных исследований по выявлению точности съемки (плановой привязки контуров) и определению площадей кинематическим методом.

Более достоверный способ GPS-съемки лесных угодий в масштабе 1 : 10 000 представляет точечное статическое позиционирование характерных точек контуров с рассмотренной выше точностью. По прямоугольным координатам тех же точек вычисляются площади с прогнозируемой точностью.

GPS-точки выбираются относительно контура 1 так, чтобы ломаная линия его отображения (линия 3 на рис. 1) не отступала от контура свыше 3–5 м. На указанных точках определяются координаты  $\varphi$  и  $\lambda$  при диффе-

ренициальном режиме приема радиосигналов, когда положение используемых спутников в созвездии наиболее благоприятно [2].

При чрезмерной затененности небосвода кронами деревьев в секторе созвездия спутников необходимо позиционировать вспомогательные GPS-точки (точка 4 на рис. 1) в местах уверенного приема спутниковых сигналов. Такие точки желательно выбирать вдоль линии меридиана или перпендикуляра к ней. Точка контура привязывается к GPS-точке измерением расстояния и азимута.

**2. Искажения площади в проекции Гаусса – Крюгера, поправки.** На рис. 2. приведена схема прямоугольной и географической координатных сеток в проекции Гаусса – Крюгера. Показаны схемы контуров карт масштаба 1 : 10 000.

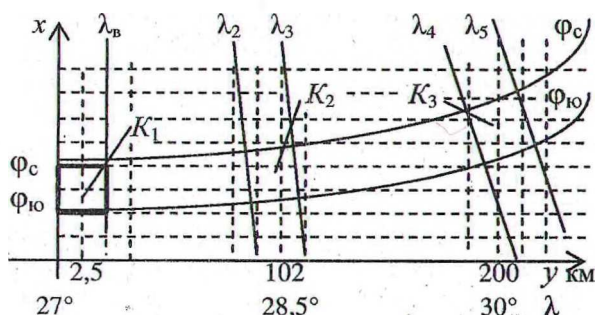


Рис. 2. Изображение рамок карт масштаба 1 : 10 000 в проекции Гаусса – Крюгера

Рамки (трапеции) трех равновеликих карт  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  ограничены параллелями с широтой: северная  $\varphi_c = 53^\circ 32' 40''$ , южная  $\varphi_{ю} = 53^\circ 30' 00''$ . Расстояние между меридианными сторонами рамок  $\lambda_2 - \lambda_1 = 4' 30''$ . Прямоугольные координаты угловых точек каждой рамки вычислены в проекции Гаусса – Крюгера по стандартной программе на ЭВМ с точностью 1 мм.

В этой же проекции вычислены практически точные значения площадей  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  по координатам углов рамок карт  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  (табл. 1).

Абсолютные искажения  $\Delta P$  площадей в проекции равны  $\Delta P_2 = P_2 - P_1$  и  $\Delta P_3 = P_3 - P_2$  (см. табл. 1). Относительные искажения  $1/P = \Delta P / P_1$ . Указанные данные служат для проверки точности формул приближенных поправок в площади, отнесенных к проекции.

Согласно [1] поправка для перехода от площади  $P_{пр}$  в проекции Гаусса – Крюгера к действительной площади  $P$  вычисляется по формуле

$$\delta P = -P_{пр}(Y/R)^2, \quad (1)$$

где  $Y$  – ордината средней точки контура;  $R = 6\,384\,500$  м – средний радиус кривизны

поверхности земного эллипсоида вблизи широт  $\varphi = 53-54^\circ$ .

Масштаб изображения в проекции больше единицы и вычисляется [1] по формуле

$$M_{пр} = 1 + Y^2 / 2R^2. \quad (2)$$

В табл. 1 показано, что искажения масштаба проекции  $M_{пр}$  достигают максимальных значений на краях 6-градусной координатной зоны. При необходимости соответствующие поправки в площади вычисляются по формуле (1).

Таблица 1  
Площади карт в проекции Гаусса – Крюгера

Показатель	Карта, элемент проекции		
	$K_1$	$K_2$	$K_3$
Ордината $Y$	2,5 км	102 км	199,2 км
Площадь, га	2460,629	2461,256	2463,024
Искажения:			
абс. $\Delta P$ , га	–	+0,627	+2,395
отн. $1/P$	–	1 / 3924	1 / 1027
Поправки:			
абс. $\delta P$ , га	–	–0,628	–2,403
отн. $\delta P/P$	–	–1 / 3915	–1 / 1024
Масштаб изображения;	1	1,000127	1,0004867
Искажение	–	+1 / 7835	+1 / 2054

**3. Оценка точности определения площадей точечной GPS-съемкой.** При известных прямоугольных координатах вершин замкнутого многоугольника, представляющего контур лесонасаждения, его площадь вычисляется по известным формулам, приведенным в учебной литературе. Для анализа точности определения площади по данным спутникового позиционирования рационально применять несложные формулы, вывод которых основан на представлении, что общая площадь лесного контура представляет собой сумму прямоугольных фигур, координаты вершин которых определены с погрешностью  $m_{xy}$ .

Площадь  $P_i$  отдельного прямоугольника  $P_i = d_{1i}d_{2i}$ . Здесь длина каждой из двух сторон  $d_{1i}$  и  $d_{2i}$  вычисляется как разность координат двух GPS-точек. Следовательно, средняя квадратическая погрешность величин  $d_{1i}$  и  $d_{2i}$  определяется из выражения

$$m_{d1}^2 = m_{d2}^2 = (m_{xy})_н^2 + (m_{xy})_к^2 = 2m_{xy}^2, \quad (3)$$

где  $(m_{xy})_н = (m_{xy})_к = m_{xy}$  – средние квадратические погрешности координат начальной и конечной точек сторон  $d_{1i}$  и  $d_{2i}$ .

Площадь прямоугольника, вычисляемая по формуле  $P = d_1d_2$ , определяется со средней квадратической погрешностью  $m_P$ , т. е.

$$P + m_P = (d_1 + m_{d1})(d_2 + m_{d2}), \quad (4)$$

где, согласно формуле (3),

$$m_{d1} = m_{xy}\sqrt{2}; \quad m_{d2} = m_{xy}\sqrt{2}. \quad (5)$$

Подставив выражения (5) в формулу (4) и приняв  $d_1 = d_2 = d$  (прямоугольник заменяется квадратом), находим

$$P + m_P = d^2 + 2 m_{xy} d\sqrt{2} + 2m_{xy}^2.$$

Здесь  $d^2 = P$ ;  $2m_{xy}^2 = 0$  (по малости), тогда погрешность площади отдельного прямоугольника, на котором позиционировались 4 угловые точки, приблизительно равна

$$m_{Pi} = 2 m_{xy} d\sqrt{2} = m_{xy}\sqrt{8d^2} = m_{xy}\sqrt{8P_i}. \quad (6)$$

Если на определяемом контуре позиционировались  $n$  дополнительных точек, то погрешность площади снижается  $\sqrt{n}$  раз, тогда для отдельного многоугольника

$$m_P = 0,01m_{xy}\sqrt{P_i 8 / n}, \quad (7)$$

где  $P_i$  – площадь, га.

Для общей площади контура  $P = (P_1 + P_2 + \dots + P_i \approx tP_i)$ , га, ( $t$  – число контуров) суммарная погрешность

$$m_P = 0,01m_{xy}\sqrt{P 8t / n}. \quad (8)$$

Количество  $n$  точек позиционирования по периметру определяемого контура известно по натурным данным или прогнозируется по формуле

$$n \approx 4\sqrt{P 10\,000 / D}, \quad (9)$$

где  $D$  – среднее расстояние между соседними точками, м.

В формулу (7) подставим выражение (9), тогда

$$m_P = 0,001m_{xy}\sqrt{2 D \sqrt{P}}. \quad (10)$$

Формулы (7)–(10) соответствуют сущности метода GPS-позиционирования, при котором погрешности  $m_{xy}$  координат вершин замкнутого многоугольника практически не зависят от

длины его сторон, а стороны непосредственно не измеряются.

При  $t = 1$ ;  $n = 4$  формула (7) приводится к виду  $m_P = 0,01m_{xy}(2P_i)^{1/2}$ , полученному автором работы [3], чем подтверждается достоверность выражений (7)–(10).

Примеры оценки ожидаемых погрешностей определения площадей по формуле (10) приведены в табл. 2. Расчетами показано, что при средней погрешности позиционирования  $m_{xy} = 5$  м площади меньше 25 га определяются с невысокими абсолютной  $m_P$  и относительной  $m_P / P$  точностью. Площади  $P \geq 25$  га определяются с удовлетворительной точностью.

При сопоставлении данных табл. 1 и 2 видно, что поправки в площади за счет проекции Гаусса – Крюгера пренебрежимо малы повсюду в пределах 6-градусной зоны (см. табл. 1).

Таблица 2

Ожидаемая точность определения площади участков лесонасаждений по результатам точечного GPS-позиционирования;  
 $D = 120$  м

$P$ , га	1,44	5	10	50	100
$n$	4	8	10	23	33
$m_{xy}$ , м	5	5	5	5	5
$m_P$ , га	0,085	0,11	0,14	0,21	0,24
$m_P / P$	1 / 17	1 / 45	1 / 70	1 / 240	1 / 420

#### Литература

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976.
2. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М.: Картоцентр; Геодезиздат, 1999.
3. Брынть М. Я. О точности вычисления площадей фигур по координатам вершин и длинам сторон // Геодезия и картография. – 2001. – № 5. – С. 37–41.