

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ЛЕСНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СПУТНИКОВЫМИ ПРИБОРАМИ МЕТРОВОЙ ТОЧНОСТИ

In this article the results of the experiments on defying the exactness of the surveying of the borders of afforestations with the help of GPS-receiver, the exactness of which is 4–5 meters, are laid out.

1. Общие требования к точности координатной привязки объектов лесных карт. Единой координатной основой картографических материалов ГИС «Лесные ресурсы» служит зональная система прямоугольных координат в геодезической (картографической) проекции Гаусса – Крюгера – система координат 1942 г. (СК-42). До недавнего времени практика приведения лесоустроительных планшетов к единой системе координат была основана на их привязке к топографическим картам масштаба 1 : 10 000 проекционными или графическими методами. Допускалось также использование планшетов прежнего лесоустройства. В итоге картографическая точность имеющихся лесоустроительных планшетов зачастую не отвечает нормативным требованиям, имеют место и грубые ошибки в изображениях контуров лесонасаждений.

Современные спутниковые методы координатной привязки материалов космических и аэрофотосъемок обеспечивают обновление лесных планов и карт, приведение их к единой государственной системе координат с обоснованной точностью. Для названных целей, а также для детальных лесных съемок (аналогичных буссольным) можно использовать недорогие спутниковые приборы, обеспечивающие требуемую точность наземного позиционирования в плане.

Картографирование четких лесных контуров (границ лесонасаждений, квартальных просек, лесосек, дорог) в масштабе 1 : 10 000 должно производиться со средней графической погрешностью $m_{гр} \leq \pm 0,5$ мм относительно прямоугольной координатной сетки составительского оригинала планшета. Допустимая погрешность равна $2m_{гр} = \pm 10$ м [1]. Координатная прямоугольная сетка оригинала плана должна отвечать системе координат СК-42. При этих допусках координаты X и Y картографируемых точек в проекции Гаусса – Крюгера следует выполнять по программам и формулам, обеспечивающим точность расчетов

$$\delta_x \leq 0,5 \text{ м}; \quad \delta_y \leq 0,5 \text{ м}. \quad (1)$$

В полевых условиях может возникнуть потребность в вычислениях координат с помощью портативных ЭВМ или инженерных калькуляторов по упрощенным программам и при-

ближенным формулам, отвечающим условию (1). К ним относятся формулы (2)–(5), полученные из точных выражений, приведенных в [2].

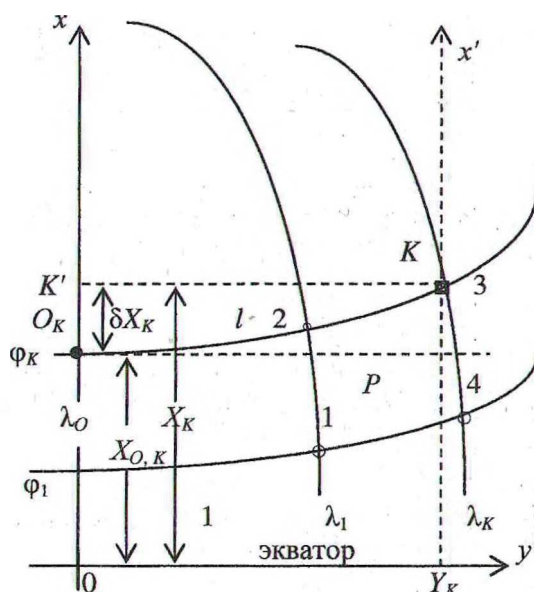


Рис. 1. Геоцентрические φ , λ и прямоугольные X , Y координаты точек на плоскости в проекции Гаусса – Крюгера

Согласно рис. 1, координаты точки K

$$X_K = X_{O,K} + \delta X_K, \quad (2)$$

где

$$X_K = 111\,134,861\varphi_K - 16\,036,4803\sin 2\varphi_K + 16,8281\sin 4\varphi_K; \quad (3)$$

$$\delta X_K = (l/\rho)^2 / 2(N\sin\varphi\cos\varphi) [1 + (l/\rho\cos\varphi)^2 / 12(5 - \text{tg}^2\varphi)]; \quad (4)$$

$$Y_K = (lN/\rho)\cos\varphi [1 + (l^2\cos^2\varphi / 6\rho^2)(1 - \text{tg}^2\varphi)]. \quad (5)$$

В формулах (2)–(5) учитываются:

– средний радиус M меридиана на широте φ :

$$M = a(1 - e^2) / \sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}; \quad (6)$$

– радиус экватора $a = 6\,378\,245$ м;

– средний радиус N первого вертикала:

$$N = a / \sqrt{1 - e^2\sin^2\varphi}; \quad (7)$$

– удаление от осевого меридиана вдоль параллели в градусной мере $l = (\lambda_K - \lambda_0)\sin\varphi$;

– параметр земного эллипсоида

$$e^2 = 0,0066934216;$$

– ρ – число градусов в радиане.

Адресное упрощение формул (2) и (5) целесообразно для лесоустроительных планшетов, расположенных в одной широтной полосе шириной до $0,5^\circ$. Например, при средней широте полосы $\varphi_{cp} = 53^\circ 32' 40''$ в формулах (2) и (5) принимаем

$$\delta X_K = l^2 465,5515(1 + l^2 0,00002905); \quad (8)$$

$$Y_K = l 1104,8456(1 - l^2 4,135 \cdot 10^{-9}). \quad (9)$$

Рис. 1 и данные табл. 1 поясняют формулы (свойства) проекции Гаусса – Крюгера: по мере удаления точек параллели от осевого меридиана зоны нелинейно нарастают элементы проекции δX_i и δY_i для абсцисс и ординат, т. е. увеличивается кривизна ее изображения, как и кривизна проекции меридианов.

Таблица 1

Значения δX_i и δY_i для параллели, широта которой $\varphi = 53^\circ 32' 40''$

Приращения абсцисс параллели при $l_1 \leq 3^\circ 02'$					
l мин	$l_1=4'$	$l_2=22'$	$l_3=25'$	$l_4=178'$	$l_5=182'$
$\delta X_i, \text{ м}$	0,129	62,586	80,819	4098,095	4284,398
	$X_3 - X_2 = 18,233 \text{ м}$		$X_5 - X_4 = 186,203 \text{ м}$		
Приращения ординат точек параллели					
$\delta Y_i, \text{ м}$	-0,001	-0,048	-0,083	-25,785	-27,823

Данные табл. 1 для $l = 4'$ относятся и к территории учебного геодезического полигона в Негорельском учлесхозе. Средняя широта полигона $\varphi_{cp} = 53^\circ 32' 40''$. Он расположен к востоку от осевого меридиана 6-градусной зоны. Здесь элементы проекции $\delta X_i \leq 0,129 \text{ м}$; $\delta Y_i \approx 0$ пренебрежимо малы и можно принять, что оси x и y прямоугольной и меридианы и параллели географической координатных сеток соответственно параллельны (рис. 2). Для полигона условию (1) отвечают следующие формулы связи между прямоугольными и географическими координатами определяемых точек:

$$X_i = X_B + (\varphi_i - \varphi_B) (M + H) / \rho'; \quad (10)$$

$$Y_i = Y_B + (\lambda_i - \lambda_B) (N + H) / \rho'; \quad (11)$$

где $\varphi_i, \lambda_i, \varphi_B, \lambda_B$ – широта и долгота определяемого пункта i и базового пункта B ; X_B, Y_B – прямоугольные координаты пункта B ; $H = 180 \text{ м}$ – средняя высота земной поверхности над уровнем моря.

Для территории полигона при средних значениях $\varphi_{cp} = 53^\circ 33,6'$ и $\lambda_{cp} = 27^\circ 03'$ находим $(M + H) = 6\,377\,113 \text{ м}$; $(N + H) = 6\,392\,281 \text{ м}$, тогда

$$X_i = X_B + 1855,03(\varphi_i - \varphi_B); \quad (12)$$

$$Y_i = Y_B + 1104,73(\lambda_i - \lambda_B); \quad (13)$$

где разности $(\varphi_i - \varphi_B)$ и $(\lambda_i - \lambda_B)$ выражаются в минутах; здесь $\rho' = 3437,746'$.

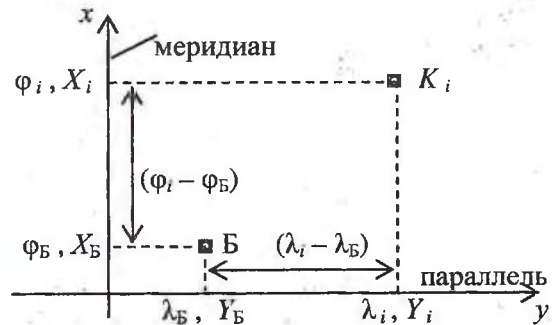


Рис. 2. Местная система совмещенных прямоугольных и географических координат вблизи осевого меридиана

2. Исследование фактической точности определения прямоугольных координат GPS-приемником в статическом положении. При исследованиях точности GPS-приемника в режиме статики (время позиционирования не превышало 1–3 мин) определялись геоцентрические широта и долгота пунктов геодезического полигона. Сигналы от спутников принимались при различной сомкнутости и густоте крон лиственных и хвойных деревьев.

Паспортная погрешность прибора при статическом позиционировании и приеме дифференциальных сигналов от базовой станции обозначена величиной $m_{xy} = 3\text{--}5 \text{ м}$ при вероятности 95%. Прямоугольные координаты пунктов учебного геодезического полигона известны с погрешностями m_{xy} , не превышающими $0,3 \text{ м}$ на расстоянии 3 км (относительная погрешность $1/T \approx 1/10\,000$).

По данным GPS-определений для пунктов значений φ_i и λ_i прямоугольные спутниковые координаты тех же пунктов вычислялись по формулам (12) и (13) относительно базового пункта T_6 , выбранного в средней части полигона. Отклонения спутниковых координат от известных (теоретических) вдоль осей x и y , т. е. разности $\epsilon_{xi} = X_i - X_{Ti}$ и $\epsilon_{yi} = Y_i - Y_{Ti}$ приведены в табл. 2. Их средние квадратические значения m_x и m_y найдены по формуле

$$M = \sqrt{[1/(n-1)][\sum \epsilon^2 - (\sum \epsilon)^2/n]}. \quad (14)$$

По результатам данного исследования (см. табл. 2) средняя квадратическая погрешность определения прямоугольных координат точек GPS-прибором относительно базового пункта равна

$$m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 4,84 \text{ м} \approx 5 \text{ м}. \quad (15)$$

Таблица 2

Отклонения спутниковых координат
пунктов геодезического полигона

№ пункта	Сомкнут. крон, %	$\epsilon_{xi}, \text{ М}$	$\epsilon_{yi}, \text{ М}$	$\epsilon_{xyi}, \text{ М}$
Т6-базов.	40	0	0	0
16А	90	+3,0	+6,7	7,34
П7	85	-4,0	+8,1	9,03
Пц	75	+0,8	+5,1	5,16
Т19	70	+0,2	+0,3	0,36
Т20	70	-0,5	-2,4	3,53
Т30	60	-4,4	+4,1	6,01
П29	60	+1,0	+4,0	4,12
П34	40	+0,9	+4,3	4,39
П30	30	+1,6	+6,2	6,40
П32	30	-0,4	+6,4	6,41
П35	20	+5,8	0,0	5,80
П24А	20	-3,8	-1,3	4,02
Т25	15	-3,0	-1,65	3,43
П24	10	-0,7	-2,1	2,21
П25	10	-2,9	+1,3	3,18

3. Исследование качества точечной GPS-съемки лесных контуров. Содержание работ и результаты точечной GPS-съемки лесных контуров во многом сходны с содержанием работ при съемках теодолитной и буссольной. Например, в процессе съемки границ выделов должны быть прорублены соответствующие визиры и установлены граничные знаки. Контур наносится на план в основном ломаными линиями (рис. 3). Точностью координат точек излома контуров определяется точность карты.

Обработкой спутниковых данных на ЭВМ получают прямоугольные координаты точек в проекции Гаусса – Крюгера либо для плановой привязки аэрофотоснимков, либо для графического нанесения контуров на планшет, либо для ввода в базу данных ГИС «Лесные ресурсы» и исправления или обновления картографических материалов. На рис. 3 приведена схе-

ма реальных GPS-съемок ломаных и прямолинейных контуров точечным методом в масштабе плана, близком к 1 : 10 000. Отклонения GPS-точек от оси нанесенных по ним на план прямолинейных контуров составляют в среднем 0,2–0,5 мм, в отдельных случаях при значительной сомкнутости и плотности крон деревьев – 0,8–1 мм.

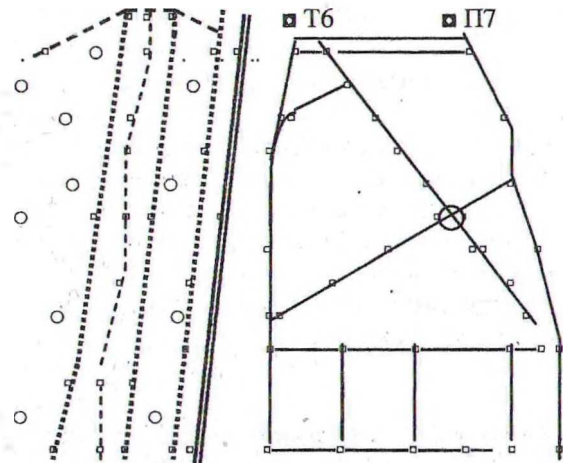


Рис. 3. GPS-точки при съемке линейных контуров:
□ – GPS-точки

Результаты опытных точечных GPS-съемок показали достаточную их точность и технологическую эффективность как при координатной привязке и съемке общих границ лесонасаждений, так и при замене буссольных работ спутниковыми при соответствующем программном обеспечении вычислений.

Литература

1. Инструкция о порядке создания и размножения лесоустроительных планово-картографических материалов. – Мн.: Изд-во ГЛПО «Белгослес», 1999.
2. Закатов П. С. Курс высшей геодезии. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976.