

УДК 528.4; 582; 587.2; 630*58

О. А. Атрощенко, профессор; В. Ф. Нестеренок, доцент

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»

The circuit of a geodetic basis creation for forestry GIS of Republic of Belarus as system of items first, second and third order is offered. The features of perspective cartographical projections for GIS are analysed, are designed and the comparative characteristics of distortions, peculiar to them are given.

Геодезическая привязка лесных планов и карт, цифровых моделей в ГИС «Лесные ресурсы» служит основой создания геометрически правильной и достоверной по местоположению конфигурации лесных площадей. Исходными материалами служат координаты опорных точек (топографические карты), данные аэрофотосъемки и космической съемки лесов.

Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь создана в системе координат 1942 года (СК-42), отнесенной к поверхности референц-эллипсоида Красовского. Геодезические топографические карты (топокарты) масштабов 1:10000 и 1:25000, а также оригиналы лесоустроительных планшетов составлены в системе СК-42.

С применением навигационных спутниковых систем практически точно определены размеры общего земного эллипсоида в геоцентрической системе координат WGS-84. В России была принята новая референциальная система геодезических координат СК-95, в которой точность опорных плановых геодезических пунктов составила 4–5 см (в системе координат СК-42 погрешности составляли 10–15 см). Однако система координат СК-95 является переходной на период внедрения новой государственной геодезической сети, основанной на спутниковых технологиях [1]. Поэтому геодезическая координатная основа для лесоустроительных планшетов может создаваться в системе координат СК-42 путем нанесения контуров лесных площадей и квартальных просек на топографические карты с координатной сеткой шестиградусных зон в проекции Гаусса–Крюгера. В картографической базе данных ГИС «Лесные ресурсы» должны быть конверторы перехода от существующей СК-42 к новым системам координат. В будущем предусматривается переход к единой геоцентрической системе координат типа американской WGS-84 или российской ПЗ-90, основанной на системах глобального позиционирования с искусственных спутников Земли.

В настоящее время в геодезических целях используются три спутниковые навигационные системы: 1) американская NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Tune And Ranging Global Positioning System – навигационная система определения расстояний и времени – глобальная система позиционирования); 2) российская система ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система); 3) система американской фирмы TRIMBLE (TRIMBLE NAVIGATION). Каждая из этих навигационных систем состоит из трех блоков: космический блок (навигационные спутники); блок контроля и управления (наземные станции слежения); блок пользователей (приемники позиционирования – приема сигналов со спутников).

Система NAVSTAR-GPS состоит из 24 искусственных спутников Земли, главной станции слежения и обработки информации со спутников (штат Колорадо, США) и пяти станций слежения, распределенных по окружности Земли. Размещение спутников на

орбите обеспечивает одновременное наблюдение, как минимум, четырех спутников в любой точке Земли. GPS-приемники принимают радиосигналы и выдают географические координаты точек позиционирования. Гражданские GPS-приемники наземного позиционирования позволяют определять координаты точки с погрешностью до 100–200 м. Повышение точности измерений координат точки связано с использованием метода базовой станции, при котором один из наземных GPS-приемников устанавливается над опорным геодезическим пунктом с известными координатами (базовая станция), а мобильные GPS-приемники используются в точке позиционирования. При таком дифференциальном режиме работы координаты точки на местности определяются с погрешностью 1–2 метра. При высокоточных измерениях расстояния между базовой станцией и мобильными GPS-приемниками принимают до 25 км. Предположительно для измерений контуров лесных площадей и опорных точек в ГИС «Лесные ресурсы» с погрешностью 3 м на местности достаточно 2 базовых станций на область.

Спутниковая система NAVSTAR-GPS обеспечивает определение координат точки в системе WGS-84, российская система ГЛОНАСС – в системе ПЗ-90 (параметры Земли 1990 г.). Система координат СК-42 менее точна, чем система WGS-84 или ПЗ-90, поэтому возникает задача преобразования общеземных координат WGS-84 или ПЗ-90 в координаты СК-42. Для выполнения преобразования необходимо обосновать параметры преобразования [3]:

- координаты смещения начал двух систем ΔX_0 , ΔY_0 и ΔZ_0 ;
- углы разворота осей координат ω_x , ω_y , ω_z ;
- масштабный коэффициент $1+\mu$.

Формулы преобразования имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} X_R &= X_T(1+\mu) - Z_T W_y + Y_T W_z + \Delta X_0, \\ Y_R &= Y_T(1+\mu) - Z_T W_x + Y_T W_z + \Delta Y_0, \\ Z_R &= Z_T(1+\mu) - Z_T W_x + Y_T W_z + \Delta Z_0. \end{aligned} \quad (1)$$

Параметры преобразования координат определяются по нескольким пунктам (не менее трех-четырёх), координаты которых известны в обеих системах. Вычисляются разности координат одноименных пунктов.

$$\begin{aligned} \Delta X_i &= \Delta X_0 - Z_{ri} W_y + Y_{ri} W_z + X_{xi} \mu - (X_{ri} - X_{Ti}), \\ \Delta Y_i &= \Delta Y_0 - Z_{ri} W_x + X_{ri} W_z + Y_{xi} \mu - (Y_{ri} - X_{Ti}), \\ \Delta Z_i &= \Delta Z_0 - Y_{ri} W_y + X_{ri} W_z + Z_{xi} \mu - (Z_{ri} - X_{Ti}). \end{aligned} \quad (2)$$

Для территории Беларуси топографические карты составлены по 6-градусным зонам в проекции Гаусса–Крюгера. Эта проекция относится к конформным, т.е. в ней сохраняются величины углов между линиями, а меридианы и параллели пересекаются под прямым углом. Прямоугольная система координат в проекции Гаусса–Крюгера включает:

- 1) ось абсцисс X берется параллельно осевому меридиану в направлении юг-север, положительное направление – северное;
- 2) ось ординат Y на плоскости проекции совпадает с направлением экватора. Ввиду конформности (равноугольности) проекции Гаусса–Крюгера в ней искажаются расстояния, по мере удаления от осевого меридиана нарастают смещения точек в про-

екции и искажения расстояний (d) между точками [2]. При этом точки смещаются перпендикулярно квадрату удаления от экватора (координата Y). Величина искажения рассчитывается по формуле

$$\Delta d = y^2 / 2R^2 \times d, \quad (3)$$

откуда следует, что по мере удаления от осевого меридиана на расстояние y (вдоль оси ординат) нарастают смещения точек в проекции и искажения расстояний d между точками. На широте экватора $(\Delta d/d)_{\max} = 1/745$, на широте Минска ($\varphi = 53,6^\circ$) $(\Delta d/d)_{\max} = 1/2048$, при этом точки смещаются перпендикулярно квадрату удаления от него (координата y) в соответствии с нелинейным выражением масштаба m_y оси y [2]:

$$m_y = 1 + y^2 / 2R^2 + y^4 / 24R^2. \quad (4)$$

В формулах (3), (4) средний радиус эллипсоида можно принять $R = 6371$ км.

Линии равных искажений длины d_y располагаются практически параллельно оси абсцисс зоны независимо от широты.

Проекция Гаусса–Крюгера при замене земного эллипсоида на шар обращается в свой частный случай – в сферическую поперечную проекцию Меркатора, которая используется в США и других странах под названием поперечная проекция UTM (Universal Transverse Mercator Projection). При конвертации картографических проекций из ГИС «Лесные ресурсы» в ArcView GIS 3.2 необходимо учитывать искажения преобразования проекций (Гаусса–Крюгера, UTM), координат и т.д. Эти искажения рассчитываются по соответствующим формулам [3].

Поскольку масштаб проекции UTM вдоль осевого меридиана зоны всюду равен 0,99960, то точки проекции теоретически смещаются в направлении вдоль оси абсцисс. Абсциссы преуменьшаются на расстояния

$$-\Delta X = M_M \varphi - M_0 \varphi l (M_M - M_0), \quad (5)$$

где φ – географическая широта точки, $l = 111,1$ – длина дуги меридиана величиной в 1 градус; $M_M = 0,99960$ – масштаб проекции UTM вдоль осевого меридиана; $M_0 = 1$ – масштаб проекции Гаусса–Крюгера. В примере расчета смещения координаты X для г. Минска ($\varphi = 53,6^\circ$) находим $-\Delta X = -2,38$ км.

Вышеизложенное показывает величины искажений координат при переходе от проекции Гаусса–Крюгера в систему UTM, т.е. картографической проекции из ГИС «Лесные ресурсы» в ArcView GIS 3.2. Вместе с тем изложенное показывает, что цельная проекция ΔX вносит неоправданно чрезмерные искажения в положение точек относительно общеземной системы координат WGS-84. Частичное решение задачи по уменьшению отклонения координат точек UTM от проекции Гаусса–Крюгера, а также от системы WGS-84 (применение GPS-приемников) состоит в том, что зоны UTM поделены на квадраты 100×100 км, в каждом из которых принята собственная реализация проекции. При этом на расстоянии 50 км от центра частной проекции смещения точек вдоль меридиана составляют $50 \cdot (0,99960 - 1) = \pm 20$ м, в поперечном направлении до $\Delta d = +1,5$ м. Поэтому разрывы между участками UTM равны 40 м.

Для преобразования координат из проекции Гаусса–Крюгера в UTM необходимо знать координаты каждого квадрата соответствующей зоны UTM. При конвертации картографических проекций из ГИС «Лесные ресурсы» в ArcView GIS необходимо учитывать искажения преобразования проекций (Гаусса–Крюгера, UTM), координат и т.д.

В практике применения проекции Гаусса–Крюгера в модификациях на шар масштаб изображения осевого меридиана принимают меньшим единицы. Конкретно в США в модификации UTM масштаб на изображении осевого меридиана равен 0,99960, этим достигается возможность расширения координатной зоны при уменьшении искажений, вычисляемых по формулам (3), (4).

От экватора зона в проекции UTM простирается к северу до широты 84° , к югу до -80° . Вдоль осевого меридиана на земном шаре масштаб проекции равен 0,99960, т.е. расстояния искажены на $-1:2500$. На краю зоны масштаб равен 1,00158, т.е. относительное искажение расстояний равно $+1:634$.

В 1970-х годах в США обсуждался вопрос о применении модификации проекции UTM в виде 2-градусных зон с линейными искажениями, не превосходящими $1:634$, но практического решения пока не получено.

Геодезическая основа ГИС «Лесные ресурсы» предназначена для получения правильных геометрических очертаний в плане (в проекции на плоскость) внешних и внутренних контуров лесных площадей, квартальных просек, границ таксационных выделов и других объектов.

Главная геодезическая основа ГИС «Лесные ресурсы» первого порядка должна состоять из системы опорных геодезических пунктов государственной геодезической сети Республики Беларусь, расположенных вблизи или в границах лесного фонда, а также из достоверно опознанных точек с известными координатами на местности, топографических картах, аэрофотоснимках и космических снимках. Координаты точек определяются в зональной системе координат проекции Гаусса–Крюгера из каталогов координат (для опорных пунктов геодезической сети) или графически по топографическим картам масштаба $1:10000$ (или $1:25000$). Обязательно определяются геодезические координаты точек пересечения (перелома) квартальных просек с необходимым контролем их положения относительно других достоверно опознанных объектов местности. Если для создания опорных пунктов главной геодезической основы ГИС «Лесные ресурсы» будут использоваться спутниковые навигационные системы, то приборы позиционирования (базовые станции) следует устанавливать в местностях с открытым небом в направлениях по азимуту от 80° до 280° для беспрепятственного приема незатененных сигналов со спутников.

Геодезическая основа ГИС «Лесные ресурсы» второго порядка представлена квартальными просеками и граничными точками контуров лесных площадей, включая геодезические знаки межевания земель. Координаты геодезических знаков межевания земель должны быть заново определены на местности при помощи теодолитных, или буссольных, ходов, путем промера относительно достоверно опознанных опорных геодезических пунктов или с помощью спутниковых навигационных систем.

Геодезическая основа ГИС «Лесные ресурсы» третьего порядка представляется линиями буссольных ходов при отводе лесосек, буссольной съемки гарей, лесокультурных площадей и других участков леса. При проложении буссольных ходов необходимо перейти к измерениям магнитных азимутов и внутренних углов, отказаться от измерения румбов. Это позволит повысить точность буссольной съемки от 1° (измерения румбов линий) до $10''$ (измерения внутренних углов). Координаты точек в буссольной съемке следует рассчитывать в условной системе прямоугольных координат, для чего на лесостроительный планшет необходимо нанести прямоугольную координатную сетку. Методика буссольных внутриквартальных съемок повышенной точности должна быть разработана и использоваться в практике лесоустройства и лесного хозяйства.

Буссольные ходы должны быть привязаны к точкам пересечения квартальных просек, но не к квартальным столбам, которые установлены со смещением относительно пересечения осей квартальных просек. В дальнейшем необходимо продумать систему фиксации положения пересечения осей квартальных просек на местности. Точная и проверенная квартальная сеть в натуре, на векторной карте в ГИС «Лесные ресурсы», на космическом снимке должна быть основой геодезической привязки лесных объектов в геоинформационных системах в лесном хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бровар Б. В., Демьянов Г. В. Состояние перспективы развития системы геодезического обеспечения страны в условиях перехода на спутниковые методы // Геодезия и картография. 1999. №1. С. 29–33.
2. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1979. 296 с.
3. Клюшин Е. Б., Киселев Н. Н. Инженерная геодезия. М.: Высшая школа, 2000. 464 с.

УДК 630*582

О. А. Атрощенко, профессор; А. А. Пушкин, аспирант

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЛЕСНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

The technology of creation and operation of the computer-based forest mapping system is considered. The procedure of creation and editing of cartographical databases for geographical information systems is resulted.

Одним из наиболее необходимых элементов устойчивого функционирования современного лесохозяйственного производства являются системы, позволяющие оперативно обновлять лесные картографические материалы всех видов, повышать их точность, постоянно поддерживать в актуализированном состоянии базы данных геоинформационных систем. Таким программным комплексом является система автоматизированного картографирования.

Отличительной особенностью функционирования данной системы является возможность получения лесных электронных карт на основе материалов аэрофотосъемки лесов и топографических карт, а также использования уже созданных цифровых карт из ГИС «Лесные ресурсы».

Автоматизированная система лесного картографирования создается в ОС Windows NT/98 на платформе ArcView GIS 3.2 с рядом разработанных для нее приложений, а также специализированной ГИС «Лесные ресурсы» (Formar 2.0). Среди различных пакетов ArcView является наиболее динамично развивающимся продуктом на рынке ГИС-технологий, имеет значительное количество внутренних (встроенных) и внешних (дополнительных) модулей, существенно расширяющих возможности стандартного пакета, характеризуется наличием возможности настройки системы под решение новых задач путем создания пользовательских приложений. Немаловажным преимуществом ArcView является возможность использования растровых данных в процессе анализа, отображения и редактирования картографической информации.