

Обобщенная аналитическая модель планово-высотной основы на недоступные территории по данным дистанционного зондирования Земли

A generalized analytical model of planning-altitude basics on inaccessible territory according to remote sensing of the Earth

Козин / Kozin E.

Евгений Вячеславович

(ekozin1970@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО), доцент кафедры ГИС.

г. Санкт-Петербург

Карманов / Karmanov A.

Андрей Геннадьевич

(karmanov.nip@gmail.com)

кандидат технических наук, доцент.

Университет ИТМО, доцент кафедры ГИС.

г. Санкт-Петербург

Карманова / Karmanova N.

Наталия Андреевна

(karmanov.nip@gmail.com)

Университет ИТМО,

лаборант кафедры ГИС.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: планово-высотная основа – planned-height basis; недоступная территория – dead territory; навигационно-баллистическое обеспечение – navigation and ballistic ensuring; фотограмметрическая задача – photogrammetric problem; объектно-ориентированная база данных – object-oriented database.

Определение координат точек местности в рассмотренной обобщенной аналитической модели производится по параметрам движения и вращения космического аппарата, определенным по снимку плоским координатам, параметрам бортовой специальной аппаратуры наблюдения и высоте подстилающей поверхности.

Determination of coordinates of terrain points discussed a generalized analytical model is made according to the parameters of motion and rotation of the spacecraft for a snapshot of a flat coordinates, parameters of onboard special equipment monitoring and surface height.

Внедрение геоинформационных систем в военную практику управления территориями предполагает переход от использования традиционных баз данных картографической информации, представленных в

виде набора номенклатурных листов к их представлению в виде объектно-ориентированной информации, в основе которой лежит совокупность объектов местности формирующих информационное географическое пространство [5].

Опыт последних исследований показал, что на недоступные территории объектно-ориентированные базы данных целесообразно создавать по данным дистанционного зондирования Земли, что обеспечивает требуемую точность и актуальность получаемой географической информации. Причем данная географическая информация может быть получена с применением различных систем наблюдения как военного, так и народно-хозяйственного назначения [5].

Реализация данного подхода предполагает следующие основные этапы выполнения работ:

1. Создание планово-высотной основы;
2. Создание цифровых моделей рельефа местности;
3. Создание бесшовного покрытия (ортоизображения исследуемой территории);
4. Автоматизированное дешифрирование объектов местности по ортоизображению;
5. Создание объектно-ориентированной базы векторных данных исследуемой территории.

В данной статье рассматривается актуальная задача создания планово-высотной основы на недоступные территории по разнородным данным дистанцион-

ного зондирования Земли. Процесс создания планово-высотной основы на недоступную территорию заключается в определении пространственных координат объектов (точек) местности по перекрывающимся разнородным изображениям, на которых изображены одинаковые участки земной поверхности [1].

Определение координат (объектов) точек местности производится по известным параметрам движения и вращения космического аппарата, определенным по снимку плоским координатам, известным параметрам бортовой специальной аппаратуры наблюдения (БСАН), известной высоте подстилающей поверхности. Предлагаемый подход основывается на решении прямой фотограмметрической задачи по двум разнородным изображениям, полученным средствами дистанционного зондирования Земли без использования информации о рельефе местности [1, 2].

В качестве исходных данных применяются известные модели движения, вращения космических аппаратов и ориентации вектора луча визирования в системе координат камеры, учитывающие особенности динамического процесса их построений различной бортовой аппаратурой наблюдения [3, 6].

Для разработки модели необходимо:

- задать системы координат, используемые при фотограмметрических преобразованиях по обработке изображений;

- показать взаимосвязь между данными системами координат.

Для разработки модели предлагается использовать следующие системы координат (СК):

- СК изображения;
- СК соответствующей камеры;
- СК конструктивных осей спутника;
- геоцентрическая орбитальная СК;
- геоцентрической инерциальной СК;
- геоцентрическая гринвичская СК;
- геодезическая СК.

В зависимости от типа применяемой съёмочной аппаратуры наблюдения на первом этапе рассчитываются направляющие косинусы вектора луча визирования в СК камеры космического аппарата (КА) (1) и в СК камеры КА (2) [4].

На рисунке 1 схематично представлен процесс получения с двух космических аппаратов разнородных изображений одного участка местности.

где: $\vec{R}_T$ – вектор пространственного положения точки местности в геоцентрической инерциальной СК; $\vec{R}_s^{(1)}$ – вектор положения космического аппарата 1 в момент времени $t^{(1)}$; $\vec{R}_s^{(2)}$ – вектор положения космического аппарата 2 в момент времени $t^{(2)}$; B – базис съёмки;

S_1 и S_2 – точки наблюдения с КА(1) и КА(2);

$\vec{R}^{(1)}$ и $\vec{R}^{(2)}$ – вектора лучей визирования от центра проектирования КА(1) и КА(2) до данной точки мест-

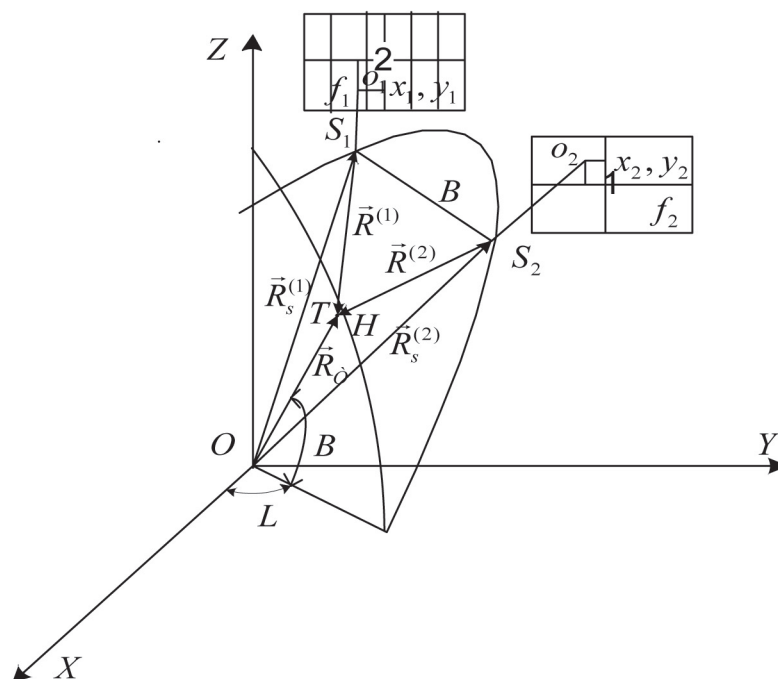


Рис. 1. Схема получения с двух космических аппаратов разнородных изображений одного участка местности

ности в момент времени $t^{(1)}$ и $t^{(2)}$; B ; L , H – геодезические координаты точки местности T .

Для преобразования направляющих косинусов луча визирования из СК камеры в геоцентрическую инерциальную СК при угломерных измерениях отдельно по каждому изображению используются известные соотношения [3, 4]:

$$\begin{bmatrix} c' \\ d' \\ l' \end{bmatrix} = [A] \times [B] \times [C] \times \begin{bmatrix} c \\ d \\ l \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где: $[A]$ – матрица перехода от орбитальной СК, характеризующая параметрами орбиты носителя к геоцентрической инерциальной СК.

Элементы матрицы $[A]$ определяются составляющими вектора площадей $\vec{C}$ [3]

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{1}{CR_s}(C_2Z_s - C_3Y_s) & \frac{C_1}{C} & \frac{X_s}{R_s} \\ \frac{1}{CR_s}(C_3X_s - C_1Z_s) & \frac{C_2}{C} & \frac{Y_s}{R_s} \\ \frac{1}{CR_s}(C_1Y_s - C_2X_s) & \frac{C_3}{C} & \frac{Z_s}{R_s} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где: постоянная площадей находится как результат векторного произведения (согласно второму закону Кеплера),

$$\vec{C} = \vec{R}_s \times \vec{V}_s,$$

$$|C| = |\vec{R}_s| \times |\vec{V}_s| \times \sin Q \text{ и угол между } \vec{R}_s \text{ и } \vec{V}_s \quad (3)$$

$$Q = \arccos \frac{X_s V_{s_x} + Y_s V_{s_y} + Z_s V_{s_z}}{R_s V_s}. \quad (4)$$

Компоненты вектора площадей $\vec{C} = (C_1, C_2, C_3)$ определяются по известным соотношениям:

$$C_1 = Y_s V_{s_z} - Z_s V_{s_y}, C_2 = Z_s V_{s_x} - X_s V_{s_z}, C_3 = X_s V_{s_y} - Y_s V_{s_x}. \quad (5)$$

Составляющие вектора положения $\vec{R}_s = \langle X_s, Y_s, Z_s \rangle$ и вектора скорости $\vec{V}_s = \langle V_{sx}, V_{sy}, V_{sz} \rangle$ в любой момент времени t определяются путем численного решения полиномиальных уравнений.

В случае использования кеплеровых элементов орбиты матрицу $[A]$ можно получить в результате соответствующих поворотов $OXYZ$ на углы Эйлера [7]

$$[A] = \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & a'_{13} \\ a'_{21} & a'_{22} & a'_{23} \\ a'_{31} & a'_{32} & a'_{33} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$a'_{11} = -\cos(\Omega_0) \sin(u) - \sin(\Omega_0) \cos(i) \cos(u);$$

$$a'_{12} = \sin(\Omega_0) \sin(i);$$

$$a'_{13} = \cos(\Omega_0) \cos(u) - \sin(\Omega_0) \cos(i) \sin(u);$$

$$a'_{21} = -\sin(\Omega_0) \sin(u) + \cos(\Omega_0) \cos(i) \cos(u);$$

$$a'_{22} = -\cos(\Omega_0) \sin(i);$$

$$a'_{23} = \sin(\Omega_0) \cos(u) + \cos(\Omega_0) \cos(i) \sin(u);$$

$$a'_{31} = \sin(i) \cos(u);$$

$$a'_{32} = \cos(i);$$

$$a'_{33} = \sin(i) \sin(u), \quad (7)$$

где: Ω_0 – прямое восхождение восходящего узла орбиты КА,

i – наклонение орбиты,

u – аргумент широты текущей точки орбиты.

$[B]$ – матрица перехода от СК конструктивных осей спутника к орбитальной СК КА. Матрица поворота $[B]$ учитывает последовательные вращения вокруг трех осей координат на углы, аналогичные принятым в авиации:

– углы крена γ , тангажа θ и рыскания ψ [6, 7].

Здесь можно выделить следующие основные группы типов вращения:

– повороты на переменные углы пространственной ориентации космического аппарата ($\theta(t), \gamma(t), \psi(t)$) (угловые элементы внешнего ориентирования спутника);

– повороты на малые углы ($\theta_n, \gamma_n, \psi_n$), обусловленные рассовмещением осей системы ориентации КА относительно осей посадочной платформы камеры;

– повороты на углы ($\theta_c, \gamma_c, \psi_c$), описывающие смещение осей посадочной платформы относительно системы камеры (сканера) SX_k, Y_k, Z_k . С учетом ориентации осей упомянутых выше СК из можно записать:

$$B' = B \times C, \quad (8)$$

где матрица $C = C_c(\theta_c, \gamma_c, \psi_c) \times C_n(\theta_n, \gamma_n, \psi_n)$ не зависит от времени; $B = B[\theta(t), \gamma(t), \psi(t)]$ – матрица с переменными во времени компонентами.

$$[C] = \begin{bmatrix} b_{11c} & b_{12c} & b_{13c} \\ b_{21c} & b_{22c} & b_{23c} \\ b_{31c} & b_{32c} & b_{33c} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_{11n} & b_{12n} & b_{13n} \\ b_{21n} & b_{22n} & b_{23n} \\ b_{31n} & b_{32n} & b_{33n} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$[B'] = [B] \times [C] = \begin{bmatrix} b_{11c} & b_{12c} & b_{13c} \\ b_{21c} & b_{22c} & b_{23c} \\ b_{31c} & b_{32c} & b_{33c} \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} b_{11n} & b_{12n} & b_{13n} \\ b_{21n} & b_{22n} & b_{23n} \\ b_{31n} & b_{32n} & b_{33n} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Составляющие данных матриц определяются по общим выражениям [3]:

$$\begin{aligned} b_{11} &= \cos \gamma \times \cos \theta, \\ b_{12} &= \cos \gamma \times \sin \theta, \\ b_{13} &= \sin \gamma, \\ b_{21} &= -\cos \psi \times \sin \theta - \sin \psi \times \sin \gamma \times \cos \theta, \\ b_{22} &= \cos \psi \times \cos \theta - \sin \psi \times \sin \gamma \times \sin \theta, \\ b_{23} &= \sin \psi \times \cos \gamma, \\ b_{31} &= \sin \psi \times \sin \theta + \cos \psi \times \sin \gamma \times \cos \theta, \\ b_{32} &= -\sin \psi \times \cos \theta - \cos \psi \times \sin \gamma \times \sin \theta, \\ b_{33} &= \cos \psi \times \cos \gamma. \end{aligned} \quad (12)$$

Элементы матрицы $[C_c]$ и $[C_n]$ определяются установочными углами камеры (сенсора) $(\theta_c, \gamma_c, \psi_c)$ относительно посадочной платформы и установочными углами платформы относительно систем ориентации КА $(\theta_n, \gamma_n, \psi_n)$, которые, как правило, бывают нулевыми (при этом матрица $[C]$ превращается в единичную диагональную, то есть не влияет на результат вычислений). Элементы данной матрицы не зависят от времени и по аналогии с матрицей $[B]$ определяются:

$$\begin{aligned} c_{11} &= \cos \gamma' \times \cos \theta', \\ c_{12} &= \cos \gamma' \times \sin \theta', \\ c_{13} &= \sin \gamma', \\ c_{21} &= -\cos \psi' \times \sin \theta' - \sin \psi' \times \sin \gamma' \times \cos \theta', \\ c_{22} &= \cos \psi' \times \cos \theta' - \sin \psi' \times \sin \gamma' \times \sin \theta', \\ c_{23} &= \sin \psi' \times \cos \gamma', \\ c_{31} &= \sin \psi' \times \sin \theta' + \cos \psi' \times \sin \gamma' \times \cos \theta', \\ c_{32} &= -\sin \psi' \times \cos \theta' - \cos \psi' \times \sin \gamma' \times \sin \theta', \\ c_{33} &= \cos \psi' \times \cos \gamma'. \end{aligned} \quad (13)$$

$$\vec{g} = \begin{bmatrix} c \\ d \\ l \end{bmatrix} - \text{вектор направляющих косинусов векторов}$$

лучей визирования в базовой СК (СК камеры) [3].

$$\vec{g}_1 = \begin{bmatrix} c_1 \\ d_1 \\ l_1 \end{bmatrix}, \quad \vec{g}_2 = \begin{bmatrix} c_2 \\ d_2 \\ l_2 \end{bmatrix} - \text{векторы направляющих коси-}$$

нусов лучей визирования в СК камер, установленных на КА.

Общее уравнение определения пространственного положения точек местности из космоса в геоцентрической инерциальной СК в векторной форме представим в виде

$$\begin{aligned} \vec{R}_T &= \vec{R}_s^{(1)} + \vec{g}^{(1)} \cdot |\vec{R}^{(1)}| - \text{для первого изображения;} \\ \vec{R}_T &= \vec{R}_s^{(2)} + \vec{g}^{(2)} \cdot |\vec{R}^{(2)}| - \text{для второго изображения,} \end{aligned} \quad (14)$$

где: $\vec{g}^{(1)}$ – вектор направляющих косинусов вектора луча визирования в СК камеры КА(1);

$\vec{g}^{(2)}$ – вектор направляющих косинусов вектора луча визирования в СК второй камеры;

$|\vec{R}^{(1)}|$ – модуль вектора луча визирования от центра проектирования КА(1) до данной точки местности в момент времени $t^{(1)}$;

$|\vec{R}^{(2)}|$ – модуль вектора луча визирования от центра проектирования КА(2) до данной точки местности в момент времени $t^{(2)}$.

Для нахождения геодезических координат точек местности и (или) объекта наблюдения из космоса по двум разнородным изображениям необходимо определить модули $|\vec{R}^{(1)}|$ и $|\vec{R}^{(2)}|$ векторов лучей визирования. Далее модули векторов обозначаются $|\vec{R}^{(1)}| = D^{(1)}$ и $|\vec{R}^{(2)}| = D^{(2)}$.

Составляющие вектора $\vec{R}_T$ с исходными данными первого изображения:

$$\vec{R}_T = \begin{bmatrix} X_s^{(1)} + c_1 \cdot |\vec{R}^{(1)}| \\ Y_s^{(1)} + d_1' \cdot |\vec{R}^{(1)}| \\ Z_s^{(1)} + l_1' \cdot |\vec{R}^{(1)}| \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Составляющие вектора $\vec{R}_T$ с исходными данными второго изображения:

$$\vec{R}_T = \begin{bmatrix} X_s^{(2)} + c_2 \cdot |\vec{R}^{(2)}| \\ Y_s^{(2)} + d_2' \cdot |\vec{R}^{(2)}| \\ Z_s^{(2)} + l_2' \cdot |\vec{R}^{(2)}| \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где $\vec{R}_T(X_T, Y_T, Z_T)$ – вектор положения точки местности в геоцентрической инерциальной СК.

Два векторных уравнения представим как шесть скалярных:

$$\begin{cases} X_T = X_s^{(1)} + c_1' \cdot D^{(1)}; \\ Y_T = Y_s^{(1)} + d_1' \cdot D^{(1)}; \\ Z_T = Z_s^{(1)} + l_1' \cdot D^{(1)}; \\ X_T = X_s^{(2)} + c_2' \cdot D^{(2)}; \\ Y_T = Y_s^{(2)} + d_2' \cdot D^{(2)}; \\ Z_T = Z_s^{(2)} + l_2' \cdot D^{(2)}. \end{cases} \quad (17)$$

Преобразовывая данные выражения, получим уравнения для определения модулей векторов лучей визирования $|\vec{R}_i|$ и $|\vec{R}_j|$ [1].

$$\begin{aligned} D^{(1)'} &= \frac{B_y \cdot l_2' - B_z \cdot d_2'}{d_1' \cdot l_2' - d_2' \cdot l_1'}; \\ D^{(1)''} &= \frac{B_x \cdot l_2' - B_z \cdot c_2'}{c_1' \cdot l_2' - c_2' \cdot l_1'}; \\ D^{(1)'''} &= \frac{B_x \cdot d_2' - B_y \cdot c_2'}{c_1' \cdot d_2' - c_2' \cdot d_1'}; \\ D^{(2)'} &= \frac{B_y \cdot c_1' - B_x \cdot d_1'}{c_2' \cdot d_1' - c_1' \cdot d_2'}; \\ D^{(2)''} &= \frac{B_z \cdot c_1' - B_x \cdot l_1'}{c_2' \cdot l_1' - c_1' \cdot l_2'}; \\ D^{(2)'''} &= \frac{B_z \cdot d_1' - B_y \cdot l_1'}{d_2' \cdot l_1' - d_1' \cdot l_2'}; \\ D^{(1)} &= \frac{D^{(1)'} + D^{(1)''} + D^{(1)'''}}{3}; \end{aligned} \quad (18)$$

$$D^{(2)} = \frac{D^{(2)'} + D^{(2)''} + D^{(2)'''}}{3}, \quad (19)$$

где: (B_x, B_y, B_z) – составляющие «временного» базиса съемки B .

Для каждой точки местности, изображенной на разнородных изображениях, существует свой базис.

$$B_x = X_s^{(2)} - X_s^{(1)}, \quad B_y = Y_s^{(2)} - Y_s^{(1)}, \quad B_z = Z_s^{(2)} - Z_s^{(1)} \quad (20)$$

По формулам вывода пространственных координат точек местности в геоцентрической инерциальной СК определяются пространственные геоцентрические координаты точек местности:

$$R'_T = \begin{bmatrix} X_s^{(1)} + c_1' \cdot D^{(1)} \\ Y_s^{(1)} + d_1' \cdot D^{(1)} \\ Z_s^{(1)} + l_1' \cdot D^{(1)} \end{bmatrix}, \quad R''_T = \begin{bmatrix} X_s^{(2)} + c_2' \cdot D^{(2)} \\ Y_s^{(2)} + d_2' \cdot D^{(2)} \\ Z_s^{(2)} + l_2' \cdot D^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Построенные по плоским (пиксельным) координатам векторы лучей визирования $\vec{R}^{(1)}$ и $\vec{R}^{(2)}$ (рис. 1), вообще говоря, скрещиваются в пространстве, и середину их общего перпендикуляра можно считать определенным положением точки местности [1, 2].

$$R_T = \frac{R'_T \cdot P_1 + R''_T \cdot P_2}{P_1 + P_2}, \quad (22)$$

где: веса P_1, P_2 – некоторые числа, обратно пропорциональные квадратам соответствующих среднеквадратических ошибок (СКО). СКО отдельного значения R_{Ti} с весом P_i определяется в соответствии с выражением:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \varepsilon_i^2 + R_T'' \cdot P}{(n-1) \cdot P_i}}, \quad (23)$$

где: ε_i – отклонение R_{Ti} от среднего взвешенного.

Данные формулы выражают зависимость между координатами точек местности (на Земном эллипсоиде) в инерциальной геоцентрической СК и ее изображением на паре снимков (аналоговых или цифровых). Эти зависимости в координатной форме описывают геометрическую модель местности, построенную по паре снимков.

Для преобразования из геоцентрической инерциальной СК в геоцентрическую гринвичскую СК применяются соотношения:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [S] \times \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix}, \quad (24)$$

$$\vec{S} = \begin{bmatrix} \cos(s) & \sin(s) & 0 \\ -\sin(s) & \cos(s) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (25)$$

где: s – звездный угол, отсчитываемый от Гринвичского меридиана в юлианский день на момент съемки.

Исходя из известных юлианских дат той или иной системы, с помощью полинома аппроксимации находим юлианский день на момент съемки [3, 4]:

$$S = \text{mod} \left[\frac{G + 86400 \cdot 1,00273790934 \cdot (JED + 0,5 - h)}{86400} \right], \quad (26)$$

где:

$$G = 24110,54841 + T \cdot (8640184,812866 + T \cdot (0,093104 - T \cdot 6,2 \cdot 10^{-6})),$$

JED – юлианская дата,

h – целая часть от суммы $(JED + 0,5)$,

T – интервал времени в юлианских столетиях от эпохи T_i до даты t .

Геодезические координаты точек местности определяются из следующих соотношений:

1. Определение геодезической долготы точки местности.

$$L = \arctg \frac{Y_T}{X_T}, \quad \text{если } X > 0, Y > 0;$$

$$L = \left(\arctg \frac{Y_T}{X_T} + \pi \right), \quad \text{если } X < 0, Y > 0;$$

$$L = \left(\arctg \frac{Y_T}{X_T} + \pi \right), \quad \text{если } X < 0, Y < 0;$$

$$L = \left(\arctg \frac{Y_T}{X_T} + 2 \cdot \pi \right), \quad \text{если } X > 0, Y < 0. \quad (27)$$

2. Определение геодезической широты точки местности.

$$B = \arctg \left(\frac{Z_r + e \cdot e^1 \cdot a \cdot \sin(\varphi)^3}{\sqrt{X_r^2 + Y_r^2 - e^2 \cdot a \cdot \cos(\varphi)^3}} \right), \quad (28)$$

где:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{Z_r}{\sqrt{X_r^2 + Y_r^2} \cdot \sqrt{1 - e^2}} \right).$$

3. Определение геодезической высоты точки местности.

$$H = \frac{Z_r}{\sin B} - N_B(1 - e^2), \quad (29)$$

где:

$$N_B = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}.$$

Применение метода вычисления звездного времени с помощью юлианской даты необходимо для исключения использования справочной литературы и таблиц, что значительно упрощает работу. Юлианские даты системы непрерывного счета отсчитывают от 1 января 4713 г. до н.э. в средний гринвичский полдень. Рекомендуется применять 2 системы, стандартная эпоха первой (B1950) соответствует началу Бесселева года 1950, с юлианской датой $JED=2433282,423357$. Для второй системы принято начало стандартной эпохи J2000 (январь 2000 с юлианской датой $JD=2451545,0$) [7].

Заключение

В заключение необходимо сказать, что данное выражение устанавливает связь между геодезическими координатами точек местности, баллистическими, геометрическими параметрами съемки, характеристиками бортовой специальной аппаратуры наблюдения, геометрией построения разнородных изображений [1].

Полученные по аналитическим выражениям значения геодезических координат точек (объектов) местности имеют приближенный характер. Процесс уточнения полученных значений координат является отдельным аналитическим циклом, который в настоящей статье не рассматривается.

В дальнейшем, полученные пространственные данные применяются для подготовки и создания различных геовидеопродуктов (цифровых моделей рельефа местности, ортофотоизображений, бесшовных покрытий), необходимых для дешифрирования объектов местности и формирования объектно-ориентированной базы векторных данных исследуемой недоступной территории.

Литература

1. Баушев, С. В. Угломерный орбитальный метод определения геодезических координат точек местности / С.В. Баушев, Н.В. Гнусарев, Е.В. Козин // Информация и Космос. – 2007. – № 4. – С. 32–40.
2. Гнусарев, Н. В. Алгоритм оценивания точности определения геодезических координат объекта наблюдения по двум разнородным изображениям / Н.В. Гнусарев, Е.В. Козин // Труды третьей военно-научной конференции Космических войск. – СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2007. – С. 279–284.
3. Козин, Е. В. Геодезическая привязка панорамных снимков / Е.В. Козин. – М.: ВНК, РАН, 2002.
4. Тюфлин, Ю. С. Космическая фотограмметрия при изучении планет и спутников / Ю.С. Тюфлин. – М.: Недра, 1986. – 271 с.
5. Козин, Е. В. Проблемы геоинформационного обеспечения систем управления современным оружием в пределах недоступных территорий и пути их решения / Е.В. Козин, А.Г. Карманов, Н.А. Карманова // Информация и Космос. – 2018. – № 1. – С. 127–133.
6. Родионов, Б. Н. Динамическая фотограмметрия / Б.Н. Родионов – М.: Недра, 1983. – 311 с.
7. Хижниченко В.И. Фотограмметрическая модель сканерной съемки повышенной точности / В.И. Хижниченко // Тр. ГосНИЦИПР. – 1988. – Вып. 31. – С. 140–153.
8. Урмаев, М. С. Космическая фотограмметрия: Учебник для вузов / М.С. Урмаев. – М.: Недра, 1989. – 279 с.