

УДК 528.24

С.Г. САВЧУК

Національний університет "Львівська політехніка"

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

© Савчук С.Г., 2003

Рассмотрен двухэтапный процесс построения геодезической референцной системы путем моделирования параметров преобразования координат. Приведены методика и алгоритм определения параметров референцной системы координат для территории Украины.

Is considered two stage process of construction geodetic reference of system by modeling parameters of transformation of coordinates. Are given a technique and algorithm of definition of parameters reference of system of coordinates for territory of Ukraine.

Постановка проблеми

Загальноземна система координат, яка зреалізована сучасними супутниковими технологіями, не може замінити існуючих геодезичних референцних систем, наприклад, СК-42, оскільки вона є геоцентричною, а, отже, координати цієї системи будуть відрізнятися від координат геодезичних референцних систем до сотні і більше метрів. Основною проблемою при вирішенні питання про введення нової геодезичної референцної системи координат, яка б базувалася на сучасних геодезичних технологіях, є збереження існуючого картографічного матеріалу при переході від існуючої системи до нової системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У [6] сформульовано головні вимоги до створюваної супутниковими радіонавігаційними системами геодезичної референцної мережі і вказано, що "класичні" системи координат, в тому числі і система СК-42, не можуть забезпечити однозначного переходу до загальноземних референцних систем через різні технології їх отримання. Безпосереднє визначення параметрів перетворення значно ускладнюється обставиною невідповідності точністю можливостей супутниковых вимірювань і якістю ісуючих геодезичних мереж [1]. Необхідну точність можна досягти тільки при впровадженні сучасної геодезичної референцної системи координат, що однозначно пов'язана з загальноземними системами [4].

Загальну схему впровадження сучасних систем координат для обмежених за розмірами територій розглянуто в [5], де зазначено, що коли на пунктах геодезичної мережі, координати яких визначено із GPS-спостережень, є відомі лише дані про відхилення прямовисних ліній або дані про висоти геоїда (квазігеоїда) відносно поверхні загальноземного еліпсоїда, то можна отримати (змоделювати) числові значення параметрів орієнтування еліпсоїда Красовського, який би найкраще підходив до фігури геоїда в межах території України.

Проте визначення оптимальних параметрів орієнтування еліпсоїда Красовського та встановлення геодезичної референцної системи координат на їх основі не може задоволити потреби топографо-геодезичного та суміжних з ним виробництв, оскільки нова "оптимальна" система координат буде відрізнятися від існуючої системи СК-42 в плановому положенні десь на 30 м, що не може вважатися прийнятним [3]. Вимоги щодо геодезичної референцної системи координат, яка би найкраще забезпечила розв'язання задач сучасного топографо-геодезичного виробництва, розглянуті в [6].

Невирішені питання встановлення сучасної референцної системи координат та постановка завдання

Для забезпечення вказаних вимог, а, особливо, вимоги щодо оптимального наближення нової геодезичної референцної системи координат до існуючої референцної системи, необхідно, щоб за різницями $\Delta B_i, \Delta L_i, \Delta H_i$, які є відхиленнями перетворених координат від існуючих референцних координат, розраховувалися поправки до отриманих оптимальних параметрів орієнтування. Оскільки вказані різниці можна отримати лише для тих пунктів, на яких проведено спостереження, а це становить не більше 10 % від загальної кількості пунктів державної геодезичної мережі першого класу, то, очевидно, що обйтися тут без їхнього моделювання не можна.

У статті наведена методика проведення власне моделювання параметрів перетворення координат.

Альтернативою класичному методу впровадження геодезичної референцної системи через встановлення вихідних геодезичних дат може бути суто математичний перехід до локальної референцної системи через визначення параметрів перетворення між двома системами координат: геодезичною референцною і загальноземною.

Технологія встановлення геодезичної референцної системи координат шляхом визначення параметрів перетворення координат полягає в наступному [6]. Нехай загальноземний еліпсоїд заданих розмірів (a, α) встановлений відносно земної поверхні так, що вісь обертання його збігається з віссю обертання Землі, а центр еліпсоїда, відповідно, з центром інерції Землі. Якщо тепер змінимо форму і розміри еліпсоїда: екваторіальну піввісь на величину da , а стиснення на величину $d\alpha$, то, відповідно, зміниться при цьому і геодезичні координати B, L, H всіх точок простору, проте прямокутні координати X, Y, Z цих точок залишаться попередніми, оскільки не змінилося положення осей координат.

Здійснивши паралельне зміщення вказаного еліпсоїда в просторі разом з осями координат в напрямі його оптимального наближення до вибраної ділянки поверхні геоїда, отримаємо додаткові зміни геодезичних координат. Зміниться на цей раз і прямокутні координати всіх точок (внаслідок переносу початку координат) на величини D_X, D_Y, D_Z . Фактично, ми отримали положення пунктів в новій референцній системі координат. Вказані положення можна обчислити через параметри перетворення для геодезичної мережі, у якій частина пунктів є з відомими координатами X, Y, Z в системах двох еліпсоїдів і, відповідно, у двох системах координат. Якщо параметри перетворення відомі, то можна було би обчислити просторові прямокутні (чи геодезичні) координати в новій геодезичній референцній системі за координатами відомої системи, наприклад, загальноземної системи ITRF (ETRF) чи Національної системи, визначеними із спутниковых спостережень.

Референцні геодезичні системи координат, що використовуються в різних країнах, розрізняються, як відомо, розташуванням початків D_X, D_Y, D_Z , розворотом осей на малі кути $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$ та різницею масштабів μ . У загальному випадку зв'язок двох систем координат (система 1 і система 2) встановлюється формулою Гельмерта

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 = (1 + \mu) \times \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} D_X \\ D_Y \\ D_Z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

У рівняння (1) входять сім параметрів $D_X, D_Y, D_Z, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \mu$, для визначення яких використовують суміщені пункти, тобто пункти, координати яких відомі в обох системах. Кожен такий пункт дозволяє скласти три рівняння вигляду (1), в яких коефіцієнти та вільні члени обчислюються за відомими координатами двох систем за способом найменших квадратів (при кількості суміщених пунктів > 3).

Геодезичні координати в новій референцній системі, які позначимо через B^+, L^+, H^+ , можна визначити через параметри перетворення

$$\begin{aligned} B^+ &= B + f_1(a, \alpha, D_X, D_Y, D_Z, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \mu), \\ L^+ &= L + f_2(D_X, D_Y, D_Z, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \mu), \\ H^+ &= H + f_3(a, \alpha, D_X, D_Y, D_Z, \varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z, \mu). \end{aligned} \quad (2)$$

Внаслідок невідповідності низки параметрів між загальноземною та існуючою референцною системами координат вказаний шлях визначення параметрів перетворення координат на основі формул (1) та встановлення нової системи координат (2) не є прийнятним [3].

Виклад основного матеріалу дослідження

а) теоретичні основи визначення оптимальних параметрів орієнтування референц-еліпсоїда для території України.

Під оптимальними параметрами орієнтування референц-еліпсоїда будемо розуміти такі параметри перетворення систем координат, які би задовільняли поставлені вище вимоги.

Нехай для визначення координат геодезичної мережі нашої країни прийнятий еліпсоїд з розмірами великої півосі та величиною полярного стиснення аналогічними еліпсоїду WGS84 безвідносно до місцевої фігури геоїда.

Положення пунктів геодезичної мережі на поверхні такого еліпсоїда визначиться геодезичними широтами B і довготами L їх проекцій. Положення поверхні геоїда в цих пунктах характеризується її висотою ζ' відносно поверхні еліпсоїда. Тобто, геодезичні широти і довготи проекцій пунктів геодезичної мережі на поверхні даного еліпсоїда та висоти геоїда в цих пунктах є геодезичними координатами відповідних точок поверхні геоїда.

Припустимо, що фігура геоїда в межах території України найкраще характеризується земним еліпсоїдом з розмірами великої півосі $a + da$ і величиною полярного стиснення $\alpha + d\alpha$.

Положення пунктів геодезичної мережі і відступи поверхні геоїда відносно поверхні еліпсоїда, що найкраще підходить до геоїда на вказаній території, будуть визначатися [3]

$$\begin{aligned} B + dB &= \varphi - \xi, \\ L + dL &= \lambda - \eta \sec \varphi, \\ \zeta' + d\zeta &= \varsigma. \end{aligned} \quad (3)$$

Тут φ, λ є астрономічними координатами, ξ, η – складовими відхилення прямовисної лінії в площині меридіана і першого вертикала від нормалі до поверхні еліпсоїда, що найкраще підходить до поверхні геоїда, а ζ' представляє висоту геоїда. Ці величини та поправки до розмірів прийнятого раніше еліпсоїда дозволяють визначити орієнтування та розміри такого еліпсоїда, який задовільняв би умову мінімального наближення його поверхні до поверхні геоїда.

Новим геодезичним координатам пунктів мережі відповідали би нові просторові декартові координати $X + D_X, Y + D_Y$ та $Z + D_Z$, які віднесені до центру нового еліпсоїда. Відзначимо, що площа екватора і вісь обертання нового еліпсоїда, після вказаних незалежних змін його розмірів та орієнтування, вважаються паралельними відповідно раніше прийнятими їх положеннями.

Обмежившись першими степенями зміни геодезичних координат та розмірів і орієнтування прийнятого раніше еліпсоїда, запишемо вирази для зміни просторових декартових координат

$$\begin{aligned} D_X &= -(M + \zeta') \sin B \cos L dB - (N + \zeta') \cos B \sin L dL + \cos B \cos L d\zeta + \\ &+ N \cos B \cos L \frac{da}{a} + M \cos B \cos L \sin^2 B \frac{d\alpha}{1 - \alpha}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$D_Y = -(M + \zeta') \sin B \sin L dB + (N + \zeta') \cos B \cos L dL + \cos B \sin L d\zeta + \\ + N \cos B \sin L \frac{da}{a} + M \cos B \sin L \sin^2 B \frac{d\alpha}{1-\alpha}, \quad (5)$$

$$D_Z = (M + \zeta') \cos B dB + \sin B d\zeta + \\ + N(1 - e^2) \sin B \frac{da}{a} - M(1 - e^2 \sin^2 B + \cos^2 B) \sin B \frac{d\alpha}{1-\alpha}, \quad (6)$$

У цих рівняннях M – радіус кривини меридіанного перерізу еліпсоїда, N – радіус кривини першого вертикала (довжина нормалі до поверхні еліпсоїда в даній точці).

З врахуванням рівнянь (4)–(6), система (3) отримає такі вирази:

$$\xi = \frac{\sin B \cos L}{M} D_X + \frac{\sin B \sin L}{M} D_Y - \frac{\cos B}{M} D_Z - \\ - e^2 \sin B \cos B \frac{da}{a} - (2 - e^2 \sin^2 B) \sin B \cos B \frac{d\alpha}{1-\alpha} + (\varphi - B), \quad (7)$$

$$\eta = \frac{\sin L}{N} D_X - \frac{\cos L}{N} D_Y + (\lambda - L) \cos \varphi. \quad (8)$$

$$\zeta = \cos B \cos L D_X + \cos B \sin L D_Y + \sin B D_Z - \\ - (1 - e^2 \sin^2 B) N \frac{da}{a} + (1 - e^2 \sin^2 B) M \sin^2 B \frac{d\alpha}{1-\alpha} + \zeta'. \quad (9)$$

За допомогою рівнянь (7)–(9) можна визначити поправки до розмірів і орієнтування прийнятого еліпсоїда за даними про відхилення прямовисніх ліній від нормалі до його поверхні або/і за даними про відступи геоїда відносно його ж поверхні в пунктах геодезичної мережі. Для цього необхідно на всіх пунктах геодезичної мережі, координати B, L, H яких визначені із GPS-спостережень, виконати астрономічні спостереження, тобто отримати координати φ, λ та провести геометричне нівелювання з метою визначення нормальних H' висот. Тоді одержимо

$$\xi^{ag} = \varphi - B,$$

$$\eta^{ag} = (\lambda - L) \cos \varphi,$$

$$\zeta' = H - H'.$$

Для того, щоб не проводити нових астрономічних спостережень чи використовувати лише пункти Лапласа можна використати матеріали геометричного нівелювання та застосувати сучасні досягнення в галузі використання гравіметричних даних (аномалій сили ваги) та сучасних моделей гравітаційного поля Землі.

Отже, задача встановлення параметрів орієнтування референц-еліпсоїда D_X, D_Y, D_Z полягає у виборі значень ξ_i, η_i і ζ_i . Ці величини можна отримати, враховуючи вирази

$$\xi_i = \xi_{0i} + \delta\xi_i,$$

$$\eta_i = \eta_{0i} + \delta\eta_i,$$

$$\zeta_i = \zeta_{0i} + \delta\zeta_i, \quad (10)$$

де ξ_{0i}, η_{0i} і ζ_{0i} – абсолютні складові прямовисніх ліній та висот квазігеоїда в пунктах, де виконані GPS спостереження; $\delta\xi_i, \delta\eta_i, \delta\zeta_i$ – так звані зовнішні параметри орієнтування референц-еліпсоїда

(на відміну від параметрів D_X, D_Y, D_Z , які називають ще внутрішніми), а саме складові кутів між нормалями до референц-еліпсоїда і загальноземного еліпсоїда та висоти між вказаними еліпсоїдами.

Величини $\xi_{0i}, \eta_{0i}, \zeta_{0i}$, як вже зазначалося, можна вивести з використанням сучасних моделей гравітаційного поля та методів прогнозування цих характеристик на основі емпіричних коваріаційних функцій.

Для того, щоб вибрати найоптимальніші величини $\delta\xi_i, \delta\eta_i, \delta\zeta_i$, достатньо мати для території України висоти квазігеоїда над загальноземним еліпсоїдом. Розташуємо референц-еліпсоїд відносно загальноземного еліпсоїда так, щоб в межах території України відхилення планетарного квазігеоїда від референц-еліпсоїда були мінімальними. З цією метою у формулах (7)–(9) ліві частини замінимо виразами (10)

$$\xi_0 + \delta\xi = \frac{\sin B \cos L}{M} D_X^o + \frac{\sin B \sin L}{M} D_Y^o - \frac{\cos B}{M} D_Z^o - \quad (11)$$

$$- e^2 \sin B \cos B \frac{da}{a} - (2 - e^2 \sin^2 B) \sin B \cos B \frac{d\alpha}{1-\alpha} + (\varphi - B),$$

$$\eta_0 + \delta\eta = \frac{\sin L}{N} D_X^o - \frac{\cos L}{N} D_Y^o + (\lambda - L) \cos \varphi. \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \zeta_0 + \delta\zeta = & \cos B \cos L D_X^o + \cos B \sin L D_Y^o + \sin B D_Z^o - \\ & - (1 - e^2 \sin^2 B) N \frac{da}{a} + (1 - e^2 \sin^2 B) M \sin^2 B \frac{d\alpha}{1-\alpha} + \zeta' \end{aligned} \quad (13)$$

Найкращим параметрам внутрішнього орієнтування $\delta\xi_i, \delta\eta_i, \delta\zeta_i$ відповідатимуть такі величини $\delta\xi_i$, які будуть найближче підходити до висот загальноземного еліпсоїда, тобто підбір елементів орієнтування виконуємо за умови

$$\sum (\zeta' - \delta\zeta)^2 = \min. \quad (14)$$

У рівняннях (11)–(13) зроблено заміну параметрів внутрішнього орієнтування $D_X = D_X^o, D_Y = D_Y^o, D_Z = D_Z^o$, яка вказує саме на їх оптимальний характер відносно поверхні квазігеоїда в розумінні умови (14) та показує на їхню невідповідність умові найкращого наближення до існуючої референцної системи координат.

Розв'язування рівнянь (11)–(13) за умови мінімуму суми квадратів відступів квазігеоїда (14) у пунктах геодезичної мережі приведе до числового визначення розмірів і орієнтування еліпсоїда, який найкраще підходить до фігури квазігеоїда в межах території України. При цьому, враховуючи поставлені вище умови щодо впровадження референцних систем координат, доцільним є залишити еліпсоїд Красовського в розумінні його розмірів як базовий. Це дозволить

- за меншою кількістю даних визначити надійно величини D_X^o, D_Y^o, D_Z^o з рівнянь (11)–(13), вважаючи $da, d\alpha$ відомими;
- зменшити суттєво різницю між існуючою системою СК-42 та новою референцною системою, що, практично, не відіб'ється на топографічних картах;
- залишити обчислювальні схеми, алгоритми опрацювання при переході до проекції Гаусса-Крюгера без змін.

Після того, як на основі вихідних даних будуть складені і розв'язані рівняння (11)–(13) за умови (14), ми отримаємо числові значення параметрів D_X^o, D_Y^o, D_Z^o оптимального орієнтування еліпсоїда Красовського, який найкраще підходить до фігури квазігеоїда в межах території України.

Геодезичні координати в новій референцній системі, позначимо їх через B^+, L^+, H^+ , можна буде обчислити через отримані параметри перетворення та відомі геодезичні координати B^c, L^c, H^c , які визначені на основі супутниковых технологій

$$\begin{aligned} B^+ &= B^c + f_1(a, \alpha, D_X^o, D_Y^o, D_Z^o) \\ L^+ &= L^c + f_2(D_X^o, D_Y^o) \\ H^+ &= H^c + f_3(a, \alpha, D_X^o, D_Y^o, D_Z^o) \end{aligned} \quad (15)$$

Значення функцій f_1, f_2 та f_3 можна знайти на основі рівнянь (4)–(6)

$$f_1 = \Delta B^+ = \frac{\sin B \cos L}{M} \cdot D_X^o + \frac{\sin B \sin L}{M} \cdot D_Y^o - \frac{\cos B}{M} \cdot D_Z^o +$$

$$+ \frac{N}{M} e^2 \sin B \cos B \cdot \frac{da}{a} + \left(\frac{N}{M} + \frac{1}{1-e^2} \right) \sin B \cos B \cdot d\alpha,$$

$$f_2 = \Delta L^+ = \frac{\sin L}{N \cos B} \cdot D_X^o - \frac{\cos L}{N \cos B} \cdot D_Y^o, \quad (17)$$

$$f_3 = \Delta H^+ = \cos B \cos L D_X^o + \cos B \sin L D_Y^o + \sin B D_Z^o + a \frac{da}{N} - N \sin^2 B d\alpha, \quad (18)$$

б) наближення параметрів оптимального орієнтування еліпсоїда Красовського до існуючої системи координат.

При всіх попередніх викладеннях ми не брали до уваги важливу умову, що сформульована була вище, а саме: *нова геодезична референцна система координат повинна бути оптимально найближчою до існуючої референцної системи*. Тому отримані на основі (15) з врахуванням рівнянь (16)–(18) координати пунктів у новій референцній системі B^+, L^+, H^+ не будуть збігатися з координатами цих же пунктів існуючої референцної системи B, L, H через цілу низку причин як методичного характеру, так і різних технологій їх отримання. Тобто, очевидно, що

$$B_i^+ \neq B_i, \quad L_i^+ \neq L_i, \quad H_i^+ \neq H_i.$$

Або

$$B_i^+ = B_i + \delta B_i,$$

$$L_i^+ = L_i + \delta L_i,$$

$$H_i^+ = H_i + \delta H_i.$$

де різниці $\delta B_i, \delta L_i, \delta H_i$ є відхиленнями перетворених координат від існуючих референцних координат B_i, L_i, H_i множини пунктів, координати яких є відомими в двох системах.

На основі рівнянь (16)–(18) можемо скласти нові рівняння для визначення поправок $\delta D_X, \delta D_Y, \delta D_Z$ до параметрів оптимального орієнтування еліпсоїда Красовського, вважаючи вже при цьому, що $da = 0$ і $d\alpha = 0$

$$\delta B = \frac{\sin B \cos L}{M} \cdot \delta D_X + \frac{\sin B \sin L}{M} \cdot \delta D_Y - \frac{\cos B}{M} \cdot \delta D_Z, \quad (19)$$

$$\delta L = \frac{\sin L}{N \cos B} \cdot \delta D_X - \frac{\cos L}{N \cos B} \cdot \delta D_Y, \quad (20)$$

$$\delta H = \cos B \cos L \cdot \delta D_X + \cos B \sin L \cdot \delta D_Y + \sin B \cdot \delta D_Z \quad (21)$$

Визначивши, отже, остаточні параметри орієнтування еліпсоїда Красовського

$$\begin{aligned} D_X &= D_X^o + \delta D_X, \\ D_Y &= D_Y^o + \delta D_Y, \\ D_Z &= D_Z^o + \delta D_Z, \end{aligned} \quad (22)$$

можемо стверджувати, що нова референцна система координат буде повністю задоволінням поставлені вимоги, а саме:

- геометричні параметри відлікової поверхні нової системи координат були такими ж, як параметри еліпсоїда Красовського;
- координатні осі нової референцної системи повинні бути паралельними відповідним координатним осям загальноземної системи ITRF/ETRF, а метрика цих систем повинна бути однакова (масштабний множник дорівнює одиниці);
- висоти квазігеоїда над відліковою поверхнею нової системи координат та відхилення прямовисніх ліній повинні бути мінімальними;
- абсолютні значення різниць координат нової референцної системи та системи координат СК-42 повинні бути мінімальними.

Висновки

Однією з основних задач, що розв'язується при обробці супутникових вимірювань, є побудова ефективних і надійних методів і алгоритмів визначення параметрів перетворення від однієї системи координат до другої, незалежно від того, який вид вимірювань використаний і з якою точністю апріорно були відомі вихідні координати пунктів на фізичній поверхні. Традиційно, задача визначення параметрів перетворення між системами координат за заданими в кожній системі векторами положень одно- або спільніх точок розв'язується методом найменших квадратів у лінійній постановці. При цьому припускається, що кути взаємної орієнтації координатних осей малі, а вектори положень спільних точок задані з невідомими похибками і в подальшому не уточнюються. Проте, зважаючи на масштабність подібної задачі для території України, на достатньо малу кількість спільних пунктів, координати яких відомі в двох системах, а також на проблему точного визначення висотної складової вектора положення (геодезичної висоти) для існуючої системи координат та проведені в цьому плані дослідження, пропонується двоетапна процедура визначення параметрів перетворення координат для території України між геоцентричною загальноземною системою ITRF/ETRF та новою геодезичною референцною системою, яка б була оптимально наблизченою до існуючої референцної системи СК-42.

На першому етапі визначаються оптимальні параметри перетворення координат, які найкраще орієнтують еліпсоїд Красовського відносно фігури квазігеоїда в межах території України, а на другому, з метою збереження спадкоємності графічних матеріалів топографічних знімань необхідно, щоб параметри перетворення координат розраховувались за умови мінімуму середніх квадратичних відхилень абсолютнох значень координат існуючої системи СК-42 і нової референцної системи.

1. Бондар А.Л., Засєць І.М., Кучер О.В. Стан та основні напрямки розвитку Державної геодезичної мережі України // Вісник геодезії та картографії. – 2001. – № 3. – С. 17–23.
2. Изотов А.А. Форма и размеры Земли по современным данным // Тр. ЦНИИГАиК. – М., 1950. – Вып. 73. – 204 с.
3. Кучер О., Ренкевич О., Лепетюк Б. Дослідження референцних систем координат для території України // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Л., 2002. – С. 15–28.
4. Кучер О., Ренкевич О., Лепетюк Б., Засєць І. Науково-технічне запезпечення впровадження референцної системи координат для території України // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Л., 2003. – С. 23–31.
5. Савчук С.Г. До питання про створення національної системи відліку // Вісник геодезії та картографії. – 2001. – № 4. – С. 11–13.
6. Савчук С.Г. Побудова геодезичної референцної системи координат // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2002. – Вип. 62. – С. 47–59.