

# СВІТОВА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА КООРДИНАТ WGS-84 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

## ЗВ'ЯЗОК З ІНШИМИ ГЕОДЕЗИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

(Затверджено наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 14.12.2001 р. № 467)

### 1. ВСТУП

Геодезія як наука присвячена вивченню форми і гравітаційного поля Землі в просторі та часі. Однією з важливих геодезичних задач є визначення місцеположення точки на поверхні Землі з необхідною точністю. Місцеположення точки визначається трьома просторовими координатами в прийнятій системі відліку. При цьому система відліку є основою для забезпечення високої точності та єдності вимірів.

Революційну роль в розвитку геодезії і вдосконаленні існуючих систем відліку зіграла поява глобальної супутникової радіонавігаційної системи координатно-часового забезпечення GPS (США), з допомогою якої стало можливим з високою точністю і оперативністю визначати координати пунктів спостережень, в тому числі і їх висотну складову.

Виконання високоточних вимірювань з використанням супутникової радіонавігаційної системи тісно пов'язано з визначенням координатних систем, відносно яких виконуються виміри. Вимірювання навігаційних параметрів супутників глобальної радіонавігаційної системи GPS і визначення місцеположення точок земної поверхні з використанням супутникових приймачів виконуються в різних системах координат. Вимірювання ведуться в системі координат супутників, не зв'язаною з добовим обертанням Землі, а результати вимірювань представляються в системі координат жорстко зв'язаною з Землею. В зв'язку з тим, що початки відліку цих двох систем безперервно зміщуються одна відносно другої, їх погодження необхідно виконувати з достатньо високою точністю в кожному сеансі спостережень.

В глобальній системі позиціонування GPS, в якості системи відліку, використовується Світова геодезична система 1984 року (WGS-84). В даному керівному нормативному документі, який розроблено, згідно Постанови Кабінету Міністрів України "Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84" №2359, від 22.12.1999 р. та розпорядження Кабінету Міністрів "Про затвердження плану заходів щодо впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84" №320-р від 11.08.2000 р., коротко подана інформація про створення супутникової системи GPS та системи відліку WGS-84. Приведені геодезичні та фізичні параметри даної системи відліку, основні параметри моделі гравітаційного поля Землі для WGS-84 і їх характеристики. Наведені основні етапи впровадження WGS-84 на території України та їх обґрунтування. Приведений аналіз методів визначення параметрів зв'язку системи WGS-84 з іншими супутниковими та референціальними системами координат, що необхідно для ефективного комбінованого використання GPS в рамках єдиної міжнародної системи глобальної супутникової навігації.

В додатках наведені основні методи перетворення координат, заданих в різних системах відліку і координат, схеми європейської перманентної GPS мережі.

### 2. СТВОРЕННЯ СВІТОВОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ СИСТЕМИ WGS-84

Визначення системи планетарних геодезичних даних, включаючи геоцентричну систему координат та параметри гравітаційного поля Землі, безпосередньо пов'язано із розвитком супутникової геодезії.

Історично супутникова геодезія, орієнтована на виконання геодезичних вимірювань на земній поверхні з використанням штучних супутників Землі (ШСЗ), виникла в кінці 50-х років, тобто після запуску перших ШСЗ. За більш чим 40-річний період ця область геодезії безперервно вдосконалювалась, пройшовши різні стадії розвитку, які умовно можна розділити на три наступні періоди:

1. *Період з 1958 по 1970 рр.* Цей період характеризується розвитком основних засад методів супутникових спостережень, включаючи в себе методи обчислення і аналізу супутникових орбіт. При цьому використовувалися спеціальні фотографічні камери, які дозволяли фіксувати на знімках положення зірок та супутників на фоні зірок. Шляхом організації синхронних спостережень подібного роду та послідовної обробки знімків було виконано побудову глобальної геодезичної мережі в єдиній системі координат. Значну увагу при цьому було приділено вивченню гравітаційного поля Землі.

Визначення світової геодезичної системи були розпочаті у США спеціалістами Військового картографічного агентства (DMA), Служби берегової і геодезичної зйомки та в подальшому Національного картографічного агентства США (NIMA). Розв'язок двох задач (координатної та гравітаційної) дозволив побудувати геоцентричну систему координат з точністю положення пунктів в середньому біля 20 м та отримати параметри гравітаційного поля землі, які забезпечували точність висот геоїда над загальноземним еліпсоїдом в середньому по 4 м. Так була створена світова геодезична система WGS-60 з подальшим уточненням її на епоху 1966 року - WGS-66.

2. *Період з 1970 по 1980 рр.* В даний період розвитку отримали нові методи спостережень такі, як доплерівські спостереження супутників Землі, лазерні вимірювання відстаней до супутників та супутникову альтиметрію. Безпосереднім попередником сучасної системи визначення місцеположення були доплерівські супутникові системи TRANSIT (NNSS) (США) і Цикада (Радянський Союз). Із обробки таких спостережень, використовуючи орбітальний метод космічної геодезії, отримували високоточну орбіту супутника, віднесену до центру мас Землі та геоцентричні координати пунктів спостережень. За цей же період виконані глобальні визначення форми геоїда з використанням даних гравіметричних, супутникових альтиметричних та астрономо-геодезичних вимірювань.

Підвищення точності вимірювальних систем, в першу чергу доплерівських, а також удосконалення методів побудови геоцентричної системи координат та визначення характеристик гравітаційного поля Землі привело до створення світової геодезичної системи. Точність геоцентричних положень пунктів у даній системі досягала порядку 3 м, точність висот геоїда в середньому по землі – 1,5-2,0 м.

3. *Період з 1980 по даний час.* Цей період характеризується широкомасштабним використанням супутникових технологій в навігації, геодезії, геодинаміці, картографії та інших суміжних областях науки і техніки. Відмічений прогрес пов'язаний, насамперед, з подальшим удосконаленням супутникових радіонавігаційних систем, а саме у використанні більш удосконалених методів вимірювання величин, на основі яких обчислюються координати точок земної поверхні, більш вдалим параметрів орбіт та цілого ряду інших технічних рішень. В результаті була створена багатофункціональна радіонавігаційна супутникова система позиціонування NAVSTAR (GPS).

Глобальна система позиціонування NAVSTAR (GPS) була створена для того, щоб замінити систему TRANSIT, яка мала два суттєвих недоліки. Головною проблемою у використанні цієї системи були великі проміжки часу між окремими сеансами спостережень. Для визначення положення у довільний момент часу користувачі змушені були виконувати інтерполяцію між послідовними проходженнями супутників над станцією спостережень, що повторювалися приблизно через 90 хвилин. Другою проблемою системи TRANSIT була відносно мала точність визначення місцеположення. Реалізація в системі NAVSTAR (GPS) методу фазових вимірювань дозволила реалізувати сантиметровий (а в окремих випадках і міліметровий) рівень точності при вимірюванні базисних ліній довжиною від кількох метрів до тисячі і більше кілометрів.

Накопичення вимірювальної інформації системи NAVSTAR (GPS) та подальша її обробка привели до створення світової геодезичної системи WGS-84.

Вперше система WGS-84 була представлена в 1987 році. Ця система була створена з використанням результатів порівняння референтної системи міністерства оборони США (NSWC-9Z-2) та системи Міжнародного Бюро Часу (BTS) та розповсюджена через низку станцій Морської навігаційної супутникової система ВМФ США (NNSS) або по іншому доплерівської системи TRANSIT.

В 1993 р. були розпочаті роботи по вдосконаленню геодезичних та фізичних параметрів системи WGS-84. Перше – це уточнення величини гравітаційної сталої. В 1994 р. цей уточнений параметр був рекомендований для використання при визначенні високоточних значень орбіт. Друге – нове значення нормалізованої гармоніки другого ступеня, яке виникло при впровадженні EGM-96.

На даний час в глобальній системі позиціонування GPS використовується світова геодезична система WGS-84 (G873) глобальна узгодженість якої складає близько 0,1 м.

### **3. СВІТОВА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА WGS-84**

#### **3.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Світова геодезична система включає фундаментальні астрономічні та геодезичні сталі, модель гравітаційного поля Землі у вигляді коефіцієнтів розкладення геопотенціалу в ряд по шарових функціях, карти висот геоїда над еліпсоїдом. Практична реалізація системи WGS-84 здійснена низкою станцій Системи оперативного управління (OCS) з відомими координатами, які задають початок системи координат, орієнтацію її осей та масштаб.

#### **3.2. ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ WGS-84**

Світова геодезична система WGS-84 являє собою Загальноземну референцну систему (CTRS). Визначення цієї системи дано Міжнародною службою обертання Землі (IERS). Основні критерії даної системи наступні:

- геоцентрична, при визначенні центру мас враховуються також маси океанів та атмосфери;
- масштаб системи такий як і в локальній системі координат з врахуванням релятивістської теорії гравітаційного поля;
- орієнтація системи – за визначенням Міжнародного бюро часу на епоху 1984 року;
- зміни її положення з часом повинні узгоджуватися з рухом земної кори.

Система WGS-84 є правостороння ортогональна система координат початок якої суміщений з центром мас Землі (рис. 1).

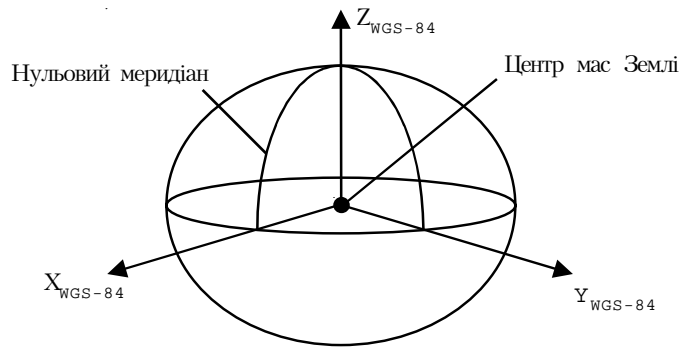


Рис.1 Система координат WGS-84

Початок та осі системи WGS-84 задаються наступним чином:

- |                   |  |
|-------------------|--|
| Початок координат | — Центр мас Землі  |
| Вісь Z            | — Направлена на Умовний земний полюс (IRP), як рекомендовано Міжнародною службою обертання Землі (IERS). Цей напрямок відповідає напрямку на Загальноземний полюс (CTP) за визначенням Міжнародного Бюро Часу (ВІН) на епоху 1984 р. з похибкою 0.005” |
| Вісь X            | — Направлена в точку перетину нульового меридіана (IRM) з площиною екватора (СТР), які встановлені Міжнародною службою обертання Землі   |
| Вісь Y            | — Завершує правосторонню ортогональну систему координат з початком в центрі мас Землі. Вона розміщена в площині екватора (СТР) під кутом 90 градусів на схід від осі X.  |

Координатна система WGS-84 суміщена з геометричним центром загальноземного еліпсоїда WGS-84, а вісь Z- з вісю обертання цього еліпсоїда.

### 3.1. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ WGS-84

Система WGS-84 реалізована шляхом зміни системи NSWC-9Z-2 за параметрами масштабу, початку координат та орієнтацією її таким чином, щоб вона найточніше співпадала з орієнтацією системи Міжнародного бюро часу (BTS) на епоху 1984 року. Цей перший варіант системи WGS-84 (визначений за допомогою системи TRANSIT) використовувався з січня 1987 року до липня 1994 року.

Незалежні дослідження показали, що існує систематична похибка в геодезичній висоті при визначенні координат одного й того ж пункту за допомогою системи GPS та за допомогою доплерівських спостережень. Для усунення цієї похибки та отримання незалежної GPS-реалізації даної системи Військове картографічне агентство МО США (DMA) в співробітництві з Військово-морським центром Division (NSWCDD) розробило виправлений список координат для мережі станцій стеження МО США. Це проводилось двічі: в 1994 та в 1996 роках.

Використовуючи дані GPS-спостережень ВПС США та системи перманентних станцій DMA сумісно з даними від деяких станцій Міжнародної служби вивчення геодинаміки з допомогою GPS (IGS), Військове картографічне агентство МО США отримало оновлені координати для перманентних станцій ВПС США та картографічного агентства (NIMA). При цьому координати деяких вибраних станцій Міжнародної служби вивчення геодинаміки з допомогою GPS (IGS) були прив'язані до Земної референсної система (ITRF) Міжнародної служби обертання Землі (IERS). Отримані оновлені координати для станцій стеження МО США мають підвищену точність за рахунок усунення систематичної похибки у визначенні геодезичної висоти та за рахунок використання найновітніших супутникових технологій. Точність по всіх трьох координатах для кожної станції стеження МО США складає біля 0,05 м (одна сигма).

На сьогодні, за даними Сегменту оперативного управління (OCS) GPS є дві незалежні GPS-реалізації системи WGS-84: WGS-84 (G730) та WGS-84 (G873). Літера “G “ вказує на те, що координати були отримані з використанням системи GPS, а цифра, яка слідує за нею – на GPS-тиждень коли ці координати були реалізовані при оцінці точних ефемерид. Координати отримані за допомогою цих реалізацій почали використовувати з 29 червня 1994 та 29 січня 1997 року відповідно.

Практична реалізація системи WGS-84 здійснена через мережу станцій, розташованих по всій території Землі, які закріплюють дану систему координат (рис.2).

Список та координати станцій, які реалізують систему WGS-84 (G873) на епоху 1997 року наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Місцеположення станції	Номер станції за класифікацією NIMA	Просторові координати		
		X (км)	Y (км)	Z (км)
<b>Станції ВПС США</b>				
Colorado Springs	85128	-1248.597221	-4819.433246	3976.500193
Ascension	85129	6118.524214	-1572.350829	-876.464089
Diego Garcia (<2 Mar 97)	85130	1917.032190	6029.782349	-801.376113
Diego Garcia (>2 Mar 97)	85130	1916.197323	6029.998996	-801.737517
Kwajalein	85131	-6160.884561	1339.851686	960.842977
Hawaii	85132	-5511.982282	-2200.248096	2329.481654
<b>Станції NIMA</b>				
Australia	85402	-3939.181976	3467.075383	-3613.221035
Argentina	85403	2745.499094	-4483.636553	-3599.054668
England	85404	3981.776718	-89.239153	4965.284609
Bahrain	85405	3633.910911	4425.277706	2799.862677
Ecuador	85406	1272.867278	-6252.772267	-23.801890
US Naval Observatory	85407	1112.168441	-4842.861714	3985.487203
China	85409	-2148.743914	4426.641465	4044.656101

\* Координати приведені до фазового (електронного) центру антени.

Різниці координат станцій між двома GPS – реалізаціями світової системи WGS-84 (G873) (епоха 1997.0) та WGS-84 (G730) (епоха 1994.0) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Місцеположення станції	Номер станції за класифікацією NIMA	Різниці по східній компоненті, см	Різниці по північній компоненті, см	Різниці геодезичних висот, см
<b>Станції ВПС США</b>				
Colorado Springs	85128	0.1	1.3	3.3
Ascension	85129	2.0	4.0	-1.1
Diego Garcia (<2 Mar 97)	85130	-3.3	-8.5	5.2
Kwajalein	85131	4.7	0.3	4.1
Hawaii	85132	0.6	2.6	2.7
<b>Станції NIMA</b>				
Australia	85402	-6.2	-2.7	7.5
Argentina	85403	-1.0	4.1	6.7
England	85404	8.8	7.1	1.1
Bahrain	85405	-4.3	-4.8	-8.1
Ecuador	85406	-2.0	2.5	10.7
US Naval Observatory	85407	39.1	7.8	-3.7
China	85409	31.0	-8.1	-1.5

\* Координати приведені до фазового (електронного) центру антени.

### 3.4. ПАРАМЕТРИ СИСТЕМИ WGS-84

#### 3.4.1. ГЕОДЕЗИЧНІ (ГЕОМЕТРИЧНІ) ПАРАМЕТРИ WGS-84

При практичному використанні системи координат WGS-84 настає необхідність визначення трьох поверхонь відносності: топографічна поверхня (рельєф), еліпсоїд, геоїд.

При виборі еліпсоїда для WGS-84 група розробників даної системи використала еквіпотенціальний еліпсоїд геодезичної референційної системи 1980 р. (GRS-80), яка була прийнята на XVII Генеральній Асамблеї Міжнародного геодезичного і геофізичного союзу (МГТС) і на даний час є

офіційною системою Міжнародної асоціації геодезії (IAG). Згідно цього еліпсоїд WGS-84 визначається, як геоцентричний еліпсоїд обертання. Для визначення еліпсоїда WGS-84 обрано чотири параметри: велика піввісь, гравітаційна стала, нормалізована зональна гармоніка другого ступеню та кутова швидкість обертання Землі. Всі ці параметри такі ж самі як і у еліпсоїда GRS-80, за одним виключенням – різниця у нормалізованій зональній гармоніки другого ступеню.

В 1993 були ініційовані процеси направлені на вдосконалення цих параметрів. Перше – це уточнення величини гравітаційної сталої. В 1994 цей уточнений параметр був рекомендований для використання при визначенні високоточних значень орбіт. Друге – нове значення нормалізованої гармоніки другого ступеня, яке виникло при впровадженні EGM-96.

Для збереження значення великої півосі та стиснення для еліпсоїду WGS-84 були дещо змінені чотири параметри, які визначають еліпсоїд GRS-80, а саме замість нормалізованої зональної гармоніки другого ступеню введено поняття стиснення. На даний час еліпсоїд WGS-84 визначають такі параметри: велика піввісь, стиснення, гравітаційна стала та кутова швидкість обертання Землі.

*Велика піввісь (a).* Це один з основних параметрів еліпсоїда WGS-84. Визначення величини даного параметра базувалося на проведених у 1976-1979 роках лазерних, доплерівських та інших радіотехнічних спостереженнях.

*Стиснення (1/f).* При розробці WGS-84 спочатку замість стиснення використовувалась нормалізована зональна гармоніка другого ступеню. Пізніше з цієї гармоніки було виведене значення стиснення, яке і стало одним з параметрів які визначають еліпсоїд WGS-84. Значення стиснення для WGS-84 різняться від значення для еліпсоїда

GRS-80. Причиною цього є те, що під час процесу нормалізації значення нормалізованої гармоніки другого ступеню було уточнене.

*Гравітаційна стала Землі (GM).* Значення гравітаційної сталої GM відомо з більшою точністю аніж просто значення G (універсальної гравітаційної сталої) або M (маси Землі). Під час розробки WGS-84 значення гравітаційної сталої декілька разів уточнювалося.

При вирахуванні цієї величини враховувалася маса атмосфери, ця величина була обчислена з використанням космічних спостережень.

Для деяких практичних застосувань необхідно мати значення гравітаційної сталої для Землі без врахування маси атмосфери або ж мати гравітаційну сталу самої атмосфери Землі.

*Кутова швидкість обертання Землі (w).* Це значення представляє стандартну Землю, яка обертається з постійною кутовою швидкістю. Реальна швидкість обертання Землі змінюється з часом. Але для практичних застосувань ці флуктуації можна не враховувати.

Система геодезичних параметрів та параметрів для спеціальних застосувань наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

№ з/п	Назва параметру	Позначення	Числове значення
<b>Основні параметри</b>			
1	Велика піввісь	a	6378137.0 м
2	Стиснення	1/f	298.257223563
3	Кутова швидкість Землі	w	$7292115.0 \times 10^{-11}$ рад/с
4	Гравітаційна стала Землі	GM	$3986004.418 \times 10^8$ м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>
<b>Параметри для спеціальних застосувань</b>			
5	Гравітаційна стала без врахування атмосфери Землі	GM'	$3986000.9 \times 10^8$ м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>
6	Гравітаційна стала атмосфери Землі	GM <sub>A</sub>	$3.5 \times 10^8$ м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>
7	Кутова швидкість обертання Землі (на задану епоху)	w*	$(7292115.8553 \times 10^{-11} + 4.3 \times 10^{-15} T_U)$ рад/с

#### 3.4.2 ДОПОМІЖНІ ГЕОМЕТРИЧНІ ТА ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ WGS-84

Для геодезичних цілей необхідно мати додаткові геометричні та фізичні параметри, які визначають еліпсоїд WGS-84. Вони розраховуються з використанням чотирьох основних параметрів еліпсоїда WGS-84 на основі теорії еквіпотенціального еліпсоїда.

Допоміжні геометричні та фізичні параметри еліпсоїда WGS-84 які мають найбільш широке застосування наведені в таблиці 4.

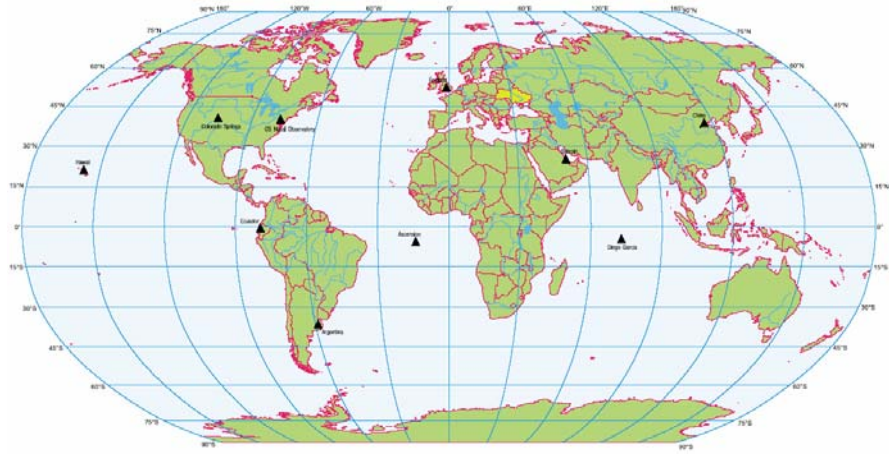


Рис 2. Схема розміщення постійних станцій, які реалізують Світову геодезичну систему WGS-84

<sup>1</sup> ç/í	Í açàà í àðàì àòðó	Ï í çí à-áí í ý	× èñèí àà çí à-áí í ý
<b>Äíííí ðæí³ àáíí àòðè-í³ í àðàì àòðè</b>			
1	Çíí àèüí à ààðì íí³èà àðóáíáí ñòóí áí ý	C <sub>2,0</sub>	- 0.484166774985 x 10 <sup>-3</sup>
2	Í àèà í³áá³ñü	B	6356752.3142 ì
3	Ï àðøéé àèñóáí òðèñèòàò	E	8.1819190842622 x 10 <sup>-2</sup>
4	Èààäðàò í àðøíáí àèñóáí òðèñèòàò	e <sup>2</sup>	6.69437999014 x 10 <sup>-3</sup>
5	Äðóáéé àèñóáí òðèñèòàò	e'	8.2094437949696 x 10 <sup>-2</sup>
6	Èààäðàò àðóáíáí àèñóáí òðèñèòàò	e' <sup>2</sup>	6.73949674228 x 10 <sup>-3</sup>
7	E³í³éíéé àèñóáí òðèñèòàò	E	5.2185400842339 x 10 <sup>-5</sup>
8	Í íèýðíéé ðàá³òñ èðèàèçí è	C	6399593.6258 ì
9	A³áííøáíí ý íñáé	b/a	0.996647189335
10	Ñàðááí³é ðàá³òñ	R1	6371008.7714 ì
11	Ðàá³òñ ñòàðè ð³áíí ç í èí ù³	R2	6371007.1809 ì
12	Ðàá³òñ ñòàðè ð³áííáí í á'òí ó	R3	6371000.7900 ì
<b>Äíííí ðæí³ ò³çè-í³ í àðàì àòðè</b>			
13	Í íðì àèüí éé ííðáí ò³áé ñèèè òýæ³íí ý áè³í ñí çàà	U0	62636851.7146 ì <sup>2</sup> / ñ <sup>2</sup>
14	Í íðì àèüí éé ííðáí ò³áé ñèèè òýæ³íí ý í à àèàáðíð³	e	9.7803253359 ì / ñ <sup>2</sup>
15	Í íðì àèüí éé ííðáí ò³áé ñèèè òýæ³íí ý í à ííèðñ³	p	9.8321849378 ì / ñ <sup>2</sup>
16	Ñàðááí <sup>0</sup> çí à-áí ý ííðì àèüí íáí ííðáí ò³áé ñèèè òýæ³íí ý		9.7976432222 ì / ñ <sup>2</sup>
17	Èíí ñòáí òà òíðì óèè ííðì àèüí íáí àðáá³ðáð³éííáí ííèý	K	0.00193185265241
18	Ï àñà Çàì è³ ç àðáðóááí í ý ì àòí íñòàðè	M	5.9733328 x 10 <sup>24</sup> èä
19	m = <sup>2</sup> a <sup>2</sup> b / GM	M	0.00344978650684

3.4.3. ᠐ÓÍ ÄÄÍ ÄÍ ᠔ÄÈÜ<sup>2</sup> Ñ᠒ÄÈ<sup>2</sup> ÑÈÑ᠒ÄÍ È WGS-84

Äèý àèçíà-áí ý WGS-84 àèèðèñòí àòðòóñý í àñòóíí³ ò³çè-í³ í àðàì àòðè: øàèèè³ñòü ñà³òèà òà àèí àí³-í èè ñèèíí áí ý Çàì è³.

Çíà-áí ý øàèèè³ñò³ ñà³òèà í ðèèé ýà, ç³áí í íò³ò³éííáí ð³òáí ý Ì ðæí áðí áí ç ì ñí ò³áð³; àáí ààç³; (²AG).

Äèí àí³-í à ñèèíí áí ý í áíáð³áí à àèý í à-èñèáí ý í ñííáí èò í ñí áí ò³à³ í áðð³; àèý Çàì è³ – A, B òà C.

᠐óí ààí áí òàèüí³ ñòà è³ ñèñòáí è WGS-84 í ààááí³ à òàèèè³ 5.

<sup>1</sup> ç/í	Í açàà í àðàì àòðó	Ï í çí à-áí í ý	× èñèí àà çí à-áí í ý
1	᠐äèèè³ñòü ñà³òèà	ñ	299792458 ì / ñ
2	Äèí àí³-í èè èíáò³ò³íð ñèèèè³ Çàì è³	H	1 / 305.4413
3	Ñà³òí àà àðáá³ðáð³éí à ñòàèà	G	6.673 x 10 <sup>-11</sup> ì <sup>3</sup> / èä ñ <sup>2</sup>
4	Ï íí áí òè³ í áðð³; Çàì è³	A B C	8.0091029 x 10 <sup>37</sup> èä ì <sup>2</sup> 8.0092559 x 10 <sup>37</sup> èä ì <sup>2</sup> 8.0354872 x 10 <sup>37</sup> èä ì <sup>2</sup>

3.5. Ì Í ÄÄÈÜ ÄÐÄÄ³᠔Ä᠐²ÉÍ Í ÄÍ Í Í È᠑ ÇÄÍ È² ÑÈÑ᠒ÄÍ È WGS-84

3.5.1. Í Ä×ÈÑÈÁÍ Í ᠑ Í Í ðÌ ÄÈÜÍ Í - ÑÈÈÈ ᠔᠑ÄÈ²Í Í ᠑ ÄÈ᠑ ÄÈ²Í ÑÍ - ÄÄ WGS-84

Äè³í ñí çà WGS-84 àèçíà-à³òóñý ýè àáí òà íððè-í èè àèá³ííðáí ò³áèüí éé àè³í ñí çà í ááððáí ý. Äèá³-ííðáí ò³áèüí éé àè³í ñí çà – òà íðí ñòí àè³í ñí çà ýèèè à òíé æà ñàì èè +àñ<sup>0</sup> àèá³ííðáí ò³áèüí í ᠑ ííáð-òíá᠑, òíáòí ííáððíá᠑ á áóäü ýèèè òí-ò³ ýèí çíà-áí ý ííðáí ò³áèüí éé òýæ³íí ý í áí àèíáà. Äè³í-ñí çà í ááððáí ý WGS-84 àèçíà-à³òóñý ýè àèá³ííðáí ò³áèüí à ííáððí ý ç çàááí èí òáí ðàðè-í èè çíà-áí ý ì ñèèè òýæ³íí ý (U). ᠐áí ðàðè-í á çíà-áí ý ííðáí ò³áèüí éé ííæà áóðè í áí í çíà-áí ý àèçíà-áí á, à í açàèàèíí³ á³à ðí çííá³éò í áñ áñàðáèí³ àè³í ñí çà, çà àíííííáí ñèñòáí è -íðèðüò í açàèàèíí³ èè èííòáí ò -í àðàì àòð³à, ýè³ àèçíà-à᠑òü àè³í ñí çà. ᠑è çàçíà-àèííý ðáí³òà òà òàè³ í àðàì àòðè: ààèèèà í³áá³ñü, ñèèíí áí ý, èóòíáà øàèèè³ñòü í ááðð áí ý Çàì è³ òà àðáá³ðáð³éí à ñòàèà.

Í Í ðÌ ÄÈÜÍ Ä ÑÈÈÄ ᠔᠑ÄÈ²Í Í ᠑ Í Ä Í Í ÄÄ᠔᠐³ ðæí³íí - ÄÄ

᠐áí ðàðè-í á çíà-áí ý ííðì àèüí í ç ñèèè òýæ³íí ý – ààèè-èí è àðáá³òíð³ ᠐óí èè³; ííðì àèüí íáí ííðáí ò³áèüí éé U çàááí à í á ííáððí³ àè³í ñí çà í íæà áóðè í á-èñèáí á çà àíííííáí ᠑ òíðì óèè Ñíí³ àè³áí à (Somigliana):

$$= \frac{1+k \sin^2 B}{c \sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} \quad \text{äà} \quad k = \frac{b}{a} - 1$$

a, b – áàèèèà òà ì àèà ì³áíñ³ àè³íñî ìàà

$e'$  – òáí ðàðè-íá çíà-áííý ì ðì àèúíî; ìèèè òýæ³ííý ìà áèààòíð³ òà ì ìèðñ³ á³áííá³áíí;

$e^2$  – éààððàð ì áðøíáí àèñòáí òðèñèòàòó;

B – ááí áàçè-íá øèðíðà.

Òà³ ò òíðì òèà àèý ìá-èñèáííý ì ðì àèúíî; ìèèè òýæ³ííý àèý àè³íñî ìàà WGS-84. Áèá³ííòáí ò³-àèúíèè àè³íñî ìàà ìèòàèèò ìà ò³èèèè èè ìááððíý á³áííííñ³ àèý áíðèçííòàèúíèè òà áàððèèèèè èè àèì³ð³á, àèà³ èè ìááððíý á³áííííñ³ àèý ì ðì àèúíî; ìèèè òýæ³ííý.

Ðíçì³ ðì³ñòù ìððèì áíî; áàèè-èíè à ìèñòáí³ Ì ÈÑ (ì àòð, è³èíì àòð, ìáèóí àà) áóáá òàèòíò M/ñ², ááí ì ì / ì² = 10⁵ ì Áàè.

Í Ì ÐÌ ÀÈÚÌ À ÑÈÈÀ ÒΒÆ²Í Ì Β Í ÁÁ Í Ì ÁÁÐÕÍ ÁÐ ÀÈ³Í ÑÌ ÒÁ

Ì ðè ì áàáèèèè ò çíà-áíí³ ááí áàçè-ííî; àèñòè, ì ðì àèúíà ìèèà òýæ³ííý ìáá ìááððíáð àè³íñî ìà ìèòàèèò òàèèì àèðàçíí:

$$h = c + \frac{1}{h} h + \frac{1}{2} \frac{b^2}{h^2} bh^2$$

Àèý ìá-èñèáííý ì ðì àèúíî; ìèèè òýæ³ííý ìáá ìááððíáð àè³íñî ìàà ì ðè áíáàòíí ò çíà-áíí³ ááí-áàçè-ííî; àèñòè àèèðèèòáò³ òùñý ðíçèèááííý ááííáí àèðàçò á ðýá Òáèèððà, èèà ì ðèèì à³ àèðàç:

$$h = \left[ 1 - \frac{2}{a} (1 + f + m - 2f \sin^2 B) h + \frac{3}{a^2} - h^2 \right], \quad \text{áá } m = \frac{a^2 b}{GM}$$

f – ìðèíì áííý, à – áàèèèè ì³áá³ñù,

B – ááí áàçè-íá øèðíðà,

– ì ðì àèúíà ìèèà òýæ³ííý ìà ìááððí³ àè³íñî ìàà ìà øèðíð³ B.

### 3.5.2. Ì Ì ÁÁÈÛ ÁÐÁÁ³ÒÁÓ³ÈÍ Ì ÁÍ Ì Ì ÈΒ ÇÁÌ È² EGM-96 ÁÈΒ WGS-84

Òíðì à ì ðááñòàèèáííý áðáá³òàò³èííî; ìááè³ EGM-96 àèý WGS-84 – òà ìòàðè-íá ààðì ìí³-íá ðíçèèááííý ìòáí ò³àèò áðáá³òàò³èííá ìèèè (V). EGM-96 – ðíçèèááííý á ðýá áí 360-áí ìòí áíð òà 360-áí ì ðýáèò, èèà ìáððíáò³ 130137 èíáò³ò³ò³á.

EGM-96 áòèà ìòáí ðáí à ìòí³ ìèè è çòñèèèè ì Ì áò³ííàèúííáí èáððíáðàò³-ííáí áááí òñòáá ÑØÀ (NIMA), èèà ì ðááñòàèèè áðáá³òàò³èí³ ááí³, NASA/GSFC òà Ì Ì ÑØÀ – èè³ ì ðááñòàèèè ááí³ ì ì-ìòàðàèáííý çà ìòí òíèèè è.

Ì ìááèÛ EGM-96 áí 70 ìòí áíð òà ì ðýáèò àèèð-íí ðáèíì áí áíááíà àèý àèñòèòí-íèè àèçíà-áí ì ðá³ ìòí òíèè è.

Ì òáí ò³àè áðáá³òàò³èííá ìèèè Çáí è³ ìèèò³ òùñý òàèèì ð³áí èííýì:

$$W = V + \hat{O},$$

áá  $\hat{O}$  – ìèèááíáá ðááðèíà ì òáí ò³àèò, àèèèèèè à áí èèáí ìááððáííý Çáí è³.

Óóí èò³ý ì òáí ò³àèò ìèèè òýæ³ííý (V) àèçíà-áí à èè:

$$V = \frac{GM}{r} \left[ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left( \frac{a}{r} \right)^n \overline{P}_{nm}(\sin B') (\overline{N}_{nm} \cos mL + \overline{S}_{nm} \sin mL) \right]$$

Áá V – ì òáí ò³àè ìèèè òýæ³ííý ( ì² / ì²);

GM – áðáá³òàò³èí à ìòáèà;

r – ááí òáí òðè-íá á³áñòáí ì;

a – áàèèèè ì³áá³ñù àè³íñî ìàà WGS-84;

n, m – ìòí³ í ì òà ì ðýáí è á³áííá³áíí;

B' – ááí òáí òðè-íá øèðíðà; L – ááí òáí òðè-íá áí ááí òà;

$\overline{N}_{nm}$ ,  $\overline{S}_{nm}$  – ì ðì àèçí ááí³ áðáá³òàò³èí³ èíáò³ò³ò³èè.

Óóí èò³ý Èáæáí áðà àèý ì ðì àèçí ááí èè èíáò³ò³ò³èè:

$$\overline{P}_{nm}(\sin B') = \left[ \frac{(n-m)!(2n+1)k}{(n+m)!} \right]^{\frac{1}{2}} P_{nm}(\sin B')$$

áá  $P_{nm}(\sin B')$  – á³áííá³áí à Óóí èò³ý Èáæáí áðà:

$$P_{nm}(\sin B') = (\cos B')^m \frac{d^m}{d(\sin B')^m} [P_n(\sin B')]$$

áá  $P_n(\sin B')$  – ìèè³ííè Èáæáí áðà:

$$P_n(\sin B') = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{d(\sin B')^n} (\sin^2 B' - 1)^n$$

$$\left| \frac{\overline{N}_{nm}}{\overline{S}_{nm}} \right| = \left[ \frac{(n+m)!}{(n-m)!(2n+1)k} \right]^{\frac{1}{2}} \left| \frac{\tilde{N}_{nm}}{\tilde{S}_{nm}} \right|$$



àà Ñ<sub>m</sub>, S<sub>m</sub> — çàè-àéí³ äðáá³òáó³éí³ èí áò³ó³í ðè àèý m = 0, k = 1; m ≠ 0, k = 2.

Àñà àèù áàè èèáááí à ñí ðáááèèèáá àèý r a, òí-³ ìí æá àèèí ðèñòí áóááòèñù ç í áááèèèí þ ìí ðèá-èí þ í á çáí í³ è ìí ááððóí³ òà á³èý í á, òàèèì -èíí ì r Í í ááððóí ý Çáí è³. Àèá àñà àèù á àèèèèááá í á ìí æá áóòè àèèí ðèñòá í ðè r Í í ááððóí ý Çáí è³.

Çí à-áí ý ìí ðí àè³çí ááí èò èí áò³ó³í òá í ááè³ EGM-96 áí 18 ñòóí áí þ³ ìí ðýáèò àèèþ-íí í áá-ááí³ ó áí áàòèò 1.

#### 4. ÁÍ ÐÍ ÁÁÁÆÁÍ Í ß ÑÁ²ÓÍ ÁÍ - ÁÁÍ ÁÄÇÈ×Í Í - ÑÈÑÒÁÌ È WGS-84 Í À ÒÄÐÈÒÍ Ð²-ÓÈÐÀ-Í È

##### 4.1. ÇÁÁÆÛÍ² Ì Í ÈÍÆÁÍ Í ß

Ñòáí ðáí ý çà ìí òáí³ ðááýòèð³-+ý ÕÕ ñò. àí áðáòòè ð³ ì áóí á³á èíí ðàèí àòí èò àèçí à-áí ù í á ìí í á³ ñóí óóí èèí àèò ðáá³íí áá³ááó³éí èò ñèñòáì ðááèèèèèè èì -èíí çí³ í èèí ñàí á òýáèáí ý ìí ðí ááí áàçè-í³ ðí áí ðè. Í í á³ ñóí óóí èèí á³ ì áóí àè á ìí ð³ áí ý³ ç ððáàèò³éí èì è ì áðòù ááááòí í áðááá. Áí í èò í áðááóñ³ ñè³á á³ áí àñòè:

- ìí æèèèñòù í áðáá-³ èíí ðàèí àò ì ðàèòè-íí í á áóáü-ýè³ á³ áñòáí³ ç ìí áðáòèáí³ ñò þ é òí-í³ ñò þ, í ááí ñýáí þ àèý ððáàèò³éí èò ì áóí á³á;
- í áí áí á³ ýçèí á³ ñòù áçá³ ìí í ç àèèè ìí ñ³ ì æ í óí èò àì è, ù ì áà³ çí í áò ááç ñíí ððáàèáí ý ááí áàçè-í èò çí áè³á ðí çí³ ù óááòè ì óí èò è á ì³ ñòýò, í áèá³ èùò ñí ðèýòèèèèè àèý çò ç áðáàèáí ý òà ìí ááèù-òí áí àèèí ðèñòáí ý;
- çáí èæáí ý àèí í á áí ù³ èúí ìí ñ³ àèò³ áí í ç ááí áàçè-í í ç ì áðáæ³, ù ì áí çáí èý³ çí à-íí çí áí èò èò è³ èúè³ ñòù ááí áàçè-í èò ì óí èò³ á ìí ðí èò ì áðáæ;
- á³ èùò ì ðí ñòí ðó á ì ðááí³ çáò³; òà àèèí áí í³ ðí á³ò, ìíí áèèí ó ááæèí áí ñòóí í èò ðàèí í áò;
- àèù èò ð³ ááí ù ááòí ì áòèçáò³; í á áñ³ ò ñòáá³ ýò àèèí áí ý ðí á³ò, á³ áñòóí³ ñòù òáòí³-íí ç àèæáí ìí ñ³ á³á -áñò áí áè, ðí èò, ìí áí áí èò óí í á;
- èðáü³ ì í æèèèñò³ àèý í á³ óáí áí ý òí-íí ç í èáí í áí ç òà àèñí óí ç ááí áàçè-í èò ìí í á í á ááç³ àèèí-ðèñòáí ý³ òà èí í ç òáòí í èí á³ ç, ñóí³ ù áí ý ì óí èò³ á, ìí ñ³ á èíí ðàèí àò³ àèñí ò òà çá³ ýçèò³ ñí ó þ-èò ì èáí í áèò³ àèñí òí èò ì áðáæ.

Çáñòí ñòááí ý ñóí óóí èèí àèò ì áóí á³á ìí áóáí áè ááí áàçè-í èò ì áðáæ òà è -è³ í áèò á ìí á³ ýçáí á ç àèèí ðèñòáí ý ñàí á ç ááèúí í çáí í ç ñèñòáì è á³ áè³ èò WGS-84 ì ðè ì áðí áó³ ðáçòèùòá³ àèí³ ð³ á.

Ç ì áóí þ³ ì ááðáò³; Óèðá çí è á ñá³ óí áò òà³ òáðí í áèñúèò àèííí³-í³ ñèñòáì è, çáí ðí áááèáí ý ñò-áñí èò ñèñòáì í áá³ ááò³; òáðí ñíí ðí èò çáñí á³á, ò-áñò³ á ì æáí áðí áí èò ì áóèí áèò áí ñè³ áæáí ýò àèí áèúí èò àèí-èí á³-í èò³ ááí áèí áí³-í èò ì ðí òáñ³ á, àèá-áí ý ò³ áòòè Çáí è³, èáðòí áðáòóááí ý òáðèòí ð³, ðí çáèòèò òà ì í ááðí³ çáò³; Ááðáèáí í ç ááí áàçè-í í ç ì áðáæ³ Èáá³ áòí Ì³ ì³ ñòð³á Óèðá çí è ì ðèè³ ýòá Ì ñòáí í áá "Í ðí áí ðí áááèáí ý í á òáðèòí ð³; Óèðá çí è Ñá³ óí áí ç; ááí áàçè-í í ç ñèñòáì è èíí ðàèí àò WGS-84"¹ 2359, á³á 22.12.1999 ð. òà ðí çí í ððýáèáí ý "Í ðí çáòááðáèáí ý í èáí ó çáòí á³á ù í áí áí ðí áááèáí ý í á òáðèòí ð³; Óèðá çí è Ñá³ óí áí ç; ááí áàçè-í í ç ñèñòáì è èíí ðàèí àò WGS-84"² 320-ð á³á 11.08.2000 ð., ýè³ ì áðááá-á þòù:

- ìí áóáòáòè ì áðí áí áí óí ò ì áðáæò ñòáí³ è ñóí óóí èèí àèò ðáá³íí áá³ááó³éí èò ñí ìí ñòáðáèáí ù, ýè³ ðáàè³ çò þòù ñèñòáì ó WGS-84 í á òáðèòí ð³; Óèðá çí è òà àèèþ-èòè ç áí³ áðí í áèñúèí ç; ì áðí áí áí ò-í í ç ì áðáæ³ (EPN);
- ñòáí ðèòè ááí áàçè-í ò ì áðáæò ì áðòí áí ìí ðýáèò òà ç áááçí á-èòè ç çá³ ýçí è³ ç ñèñòáì í þ WGS-84 òà ETRS89 (áðí í áèñúèà çáí í á ðáòáðáí óí á ñèñòáì à 1989 ðí èò)³ ITRS (Ì³ æáí áðí áí á çáí í á ðáòáðáí óí á ñèñòáì á);
- àèèí áòè ðí áí ðè ç óóí-í áí ý ðáá³ í áèúí í áí ááí çáá á ñèñòáì³ WGS-84.

##### 4.2. Í Í ÁÓÁÍ ÁÁ Í ÁÐÌ ÁÍ ÁÍ ÓÍ Í - Ì ÁÐÁÆ² ÑÓÍ ÓÓÍ ÈÈÍ ÁÈÕ ÐÁÁ² Í Í ÁÁ² ÁÁÓ² ÈÍ ÈÕ ÑÍ Í ÑÒÁÐÁÆÁÍ Û

Í ñí í áí þ èáí èí þ áñ³; ñòðòè óòòè ðáàè³ çáò³; ñèñòáì è WGS-84 í á òáðèòí ð³; èðá çí è ì á³ áóòè ì áðí áí áí óí à ì áðáæá ñóí óóí èèí àèò ðáá³íí áá³ááó³éí èò ñí ìí ñòáðáèáí ù (Í Ì ÑÐÑ), ýèá³ ò ñèèáí áí þ -áñòèí þ Óóí ááí áí òàèúí í ç ááí áàçè-í í ç ì áðáæ³ (ÓÁÌ). Í ñí í áí³ Óóí èò³; ì áðáæ³:

- çááááí ý òà ìí áðáòèáí á á³ áòáí ðáí ý ç ááèúí í çáí í ç; ááí óáí òðè-í í ç ñèñòáì è èíí ðàèí àò;
- óñóí áí ý ìí æèèèèè ñíí ðáí ðáí ù ááðáèáí í ç ááí áàçè-í í ç ì áðáæ³ (ÁÁÌ) òà ì áðáæ çáòù áí ý á ðáá³ í í áèúí ì ó òà àèí ááèúí ì ó ì áñòðááò;
- àèñí áðèí áí òàèúí á àèýáèáí ý òà í áè³ è ááòí ðí ó þ-í áí áí èèáò ááí áèí áí³-í èò ì ðí òáñ³ á í á ñòáá³ èúí³ ñòù èíí ðàèí áòí í ç ìí í áè (òàè çááí á ì ðèáááí ý áí³ òàèí ç; áíí ðè);
- ì áðí èí á³-í á ç áááçí á-áí ý ì áðí áèòèáí í ç; àèðí áí è-í ç á³ ýèúí ìí ñ³ (àòàèí óááí ý é áòáñòá³ ý ì áèáóóí³ ò àèñí èí òí-í èò èíí³-í èò òà³ èòè ñèñòáì).

Áèòí áý-è³ ç Óóí ááí áí òàèúí í áí ì ðèçí á-áí ý ì áðí áí áí óí í ç ì áðáæ³, ç ì óí èòè ìí áèí³ áóòè ð³ áí-ì³ ðí ðí çí³ ù áí³ ìí áñ³ è òáðèòí ð³; èðá çí è ç ñáðááí³ è á³ áñòáí ý è ì æ í èì è 200-300 èì. Õèò ì óí èò³ á ì á³ áóòè 8-10. Áçá³ í á ìí èí æáí ý ñóí æéí èò ì óí èò³ á ñè³á àèçí á-áòè ç á³ áííí þ ìí èèè þ ìí ðýá-èò 1:10-8. Óàèí áí æ ìí ðýáèò ìí èèè áíí òñòè³³ á ááí óáí òðè-í èò ðáá³ òñ - áàèòí ðáò ì óí èò³ á.































