

МОДУЛЬ 1

Основи картографії

Тема:

Системи координат.

Розграфка і номенклатура
карт.

Системи координат

Системи координат, що використовуються в Україні:

1. Референцна система координат 1942 року (СК-42). Система координат 1942 року – референцна система прямокутних координат на площині, яка базується на використанні конформної проекції Гауса-Крюгера з вихідними даними:

- референц-еліпсоїд Красовського — велика піввісь 6 378 245 м, стиснення 1:298,3;
- висота геоїда в Пулково над референц-еліпсоїдом дорівнює нулю;
- геодезичні координати Пулковської обсерваторії (центр сигналу А): широта — $59^{\circ}46'15,359''$, довгота від Грінвіча $30^{\circ}19'28,318''$;
- геодезичний азимут з Пулково на пункт - Бугри — $121^{\circ}06'42,305$;
- центр еліпсоїда Красовського збігається з початком референцної СК, вісь обертання еліпсоїда рівнобіжна (паралельна) осі обертання Землі, а площина нульового меридіана визначає положення початку відліку довгот. Всі інші параметри еліпсоїда є похідними.

Системи координат

У системі СК-42:

1) Державна нівелірна мережа поширює на всю територію країни систему нормальних висот (**Балтійська система 1977 року**), вихідним початком якої є нуль Кронштадтського футштока.

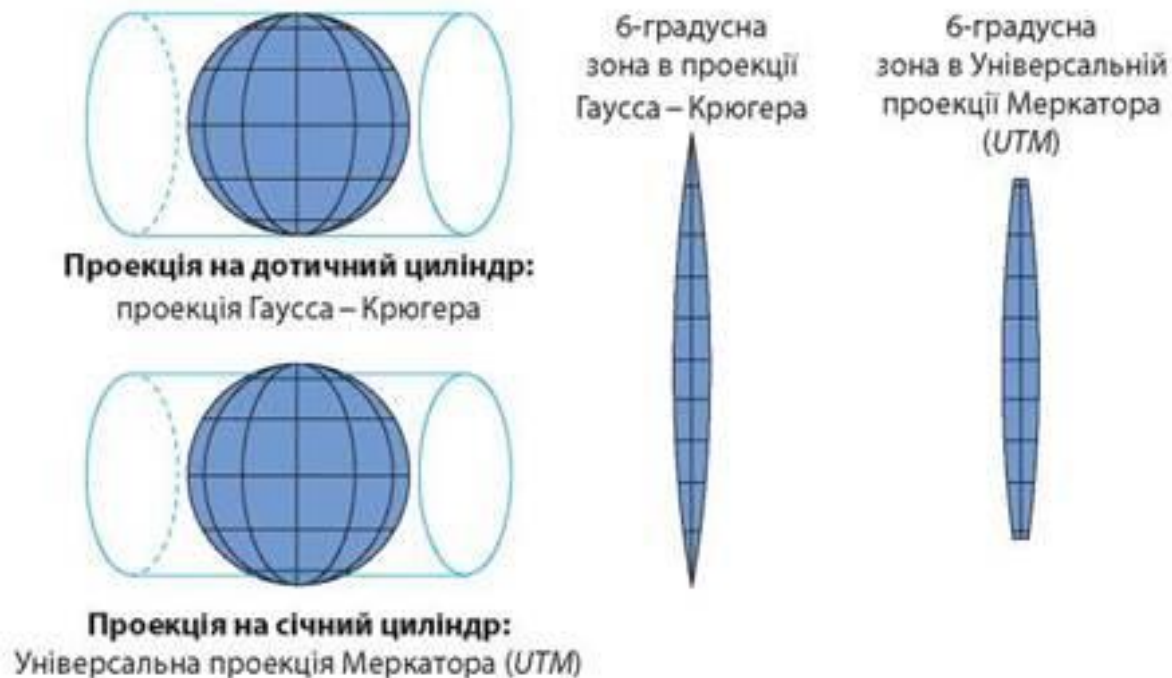
2) Прямокутні координати Державної геодезичної мережі обчислювалися на площині в **конформній проекції Гауса-Крюгера в шестиградусних зонах**, осьовими меридіанами яких є меридіани з довготами 21° , 27° , 33° , 39° . Початком координат у кожній зоні є точка перетину осьового меридіана з екватором. Значення ординати на осьовому меридіані приймається рівним **500 км**.

3) При топографічних зніманнях у масштабах 1:5000 і більше, крім прямокутних координат у **шестиградусних зонах**, обчислюються прямокутні координати у **триградусних зонах**. Осьовими меридіанами цих зон у системі координат 1942 року є меридіани з довготами 21° , 24° , 27° , 30° ... 39° .

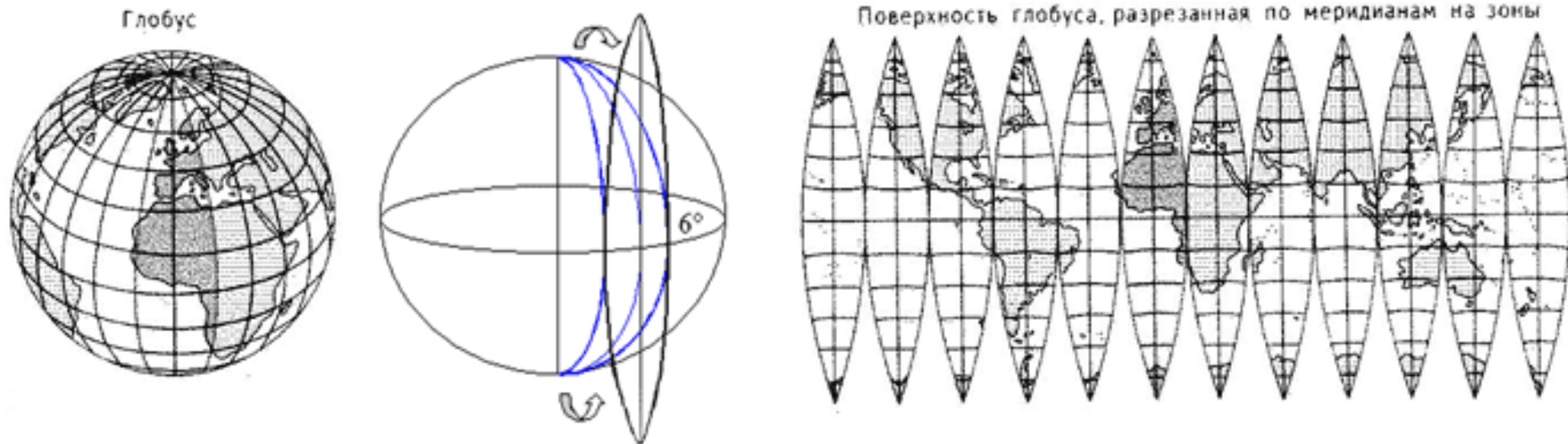
Системи координат

Розглянемо детальніше проекцію Гаусса-Крюгера, яка використовується у системі координат СК-42

Застосування проекції Гауса-Крюгера дає можливість практично **без суттєвих викривлень** зобразити досить значні ділянки земної поверхні, і, що дуже важливо, побудувати на цій території **систему плоских прямокутних координат**. Ця система є найпростішою й зручною для виконання інженерних та топографо-геодезичних робіт.

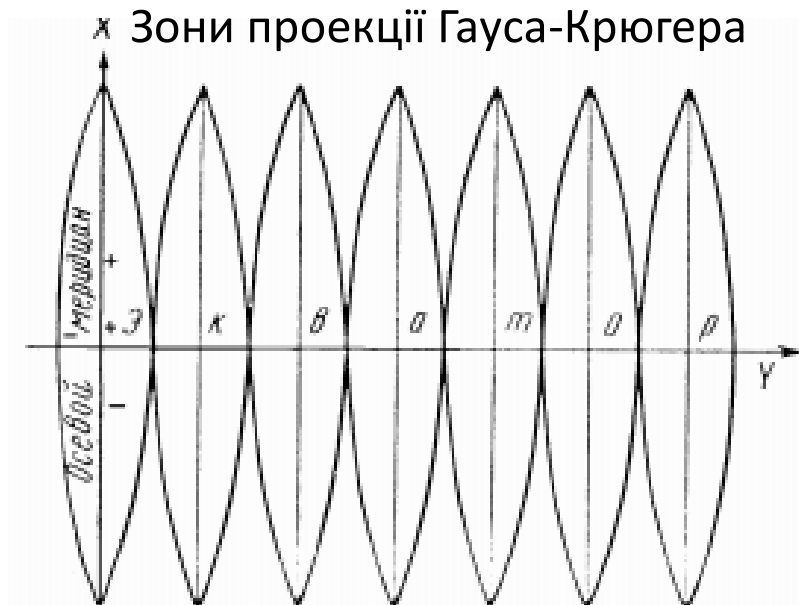


При застосуванні **конформній проекції Гауса-Крюгера** усю поверхню Землі поділяють по меридіанах на 60 геодезичних зон, по 6° кожна. Середній меридіан у кожній зоні називається осьовим меридіаном. У проекції Гаусса поверхню еліпсоїда вписують у перевернутий на 90° циліндр так, що осьовий меридіан однієї із зон є дотичним до бічної поверхні циліндра. Проеціювання поверхні еліпсоїда на внутрішню поверхню циліндра виконують не відразу для всього еліпсоїда, а окремо для кожної зони. При цьому геодезична зона земної поверхні завширшки у 6° практично не має спотворень. У такий самий спосіб послідовно проєктують на бічну поверхню циліндра всі інші зони, одну поруч із іншою. Потім зображення кожної зони поділяють сіткою меридіанів і паралелей на окремі аркуші карти встановленого розміру.



Зони проекції Гауса-Крюгера

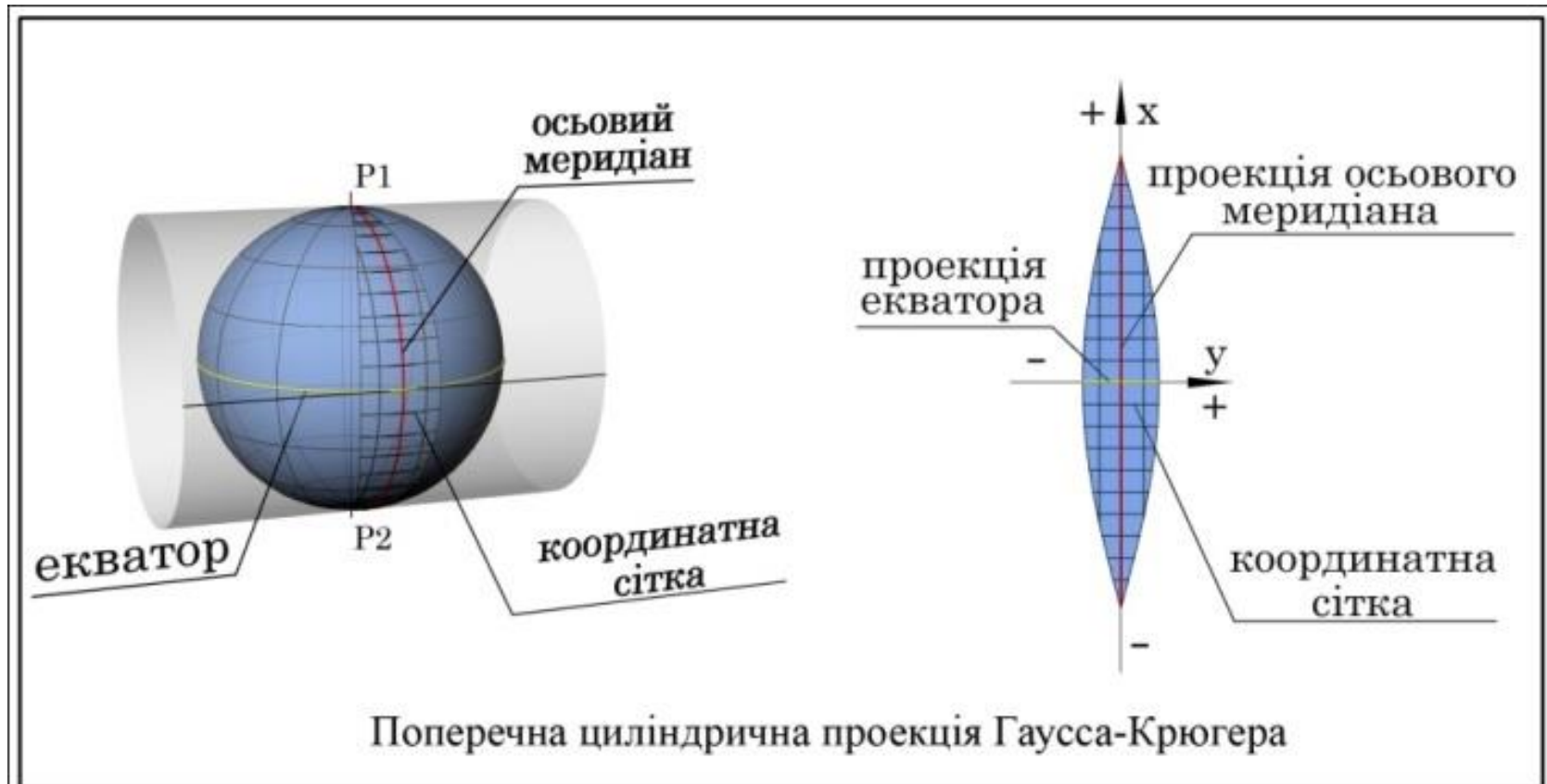
Чому ж шириною геодезичної зони обрали 6° ? Дослідженнями було встановлено, що оптимальні розміри території зображення мають обмежуватися **меридіанами**, віддаленими один від одного на 6° . Ця фігура отримала назву **сфероїдального двокутника**. Його розміри: 180° по широті (від полюса до полюса), і 6° по довготі. Спотворення площ, відстаней і напрямків у межах кожної зони мінімальні, а вздовж осьового меридіана – відсутні. Відносна похибка довжини в найвіддаленіших від середнього меридіана точках **екватора** на межі зони становитиме $1/750$. Максимальні похибки довжини в межах зони становлять $+0,14\%$, а площі — $+0,27\%$; в межах України вони ще менші. Таким чином, похибки довжини та площі в межах зони менші, ніж викривлення, що виникають під час друку карти за рахунок деформації паперу. Зображення зони в проєкції Гауса практично не має викривлень і дозволяє будь-які карто- та морфометричні роботи.



При цьому, **нумерація геодезичних зон** проєкції Гаусса-Крюгера (від 1 до 60) починається **від меридіана 0°** в напрямку із заходу на схід.

Прямокутні координати

Як було зазначено вище, застосування **проекції Гауса-Крюгера** дає можливість побудувати **систему плоских прямокутних координат (прямокутну (кілометрову) сітку на топокарті)**.



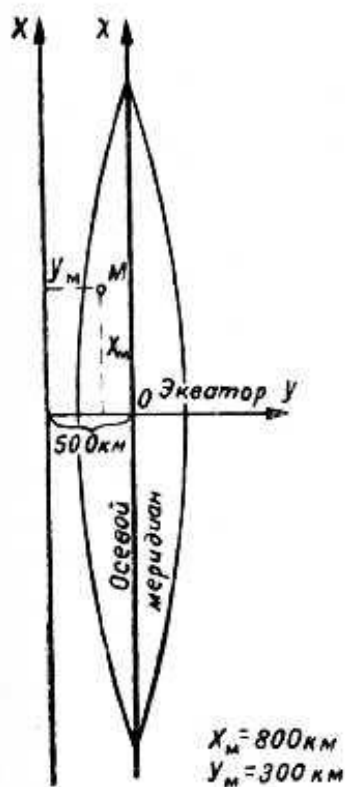
Системи координат

СК-42

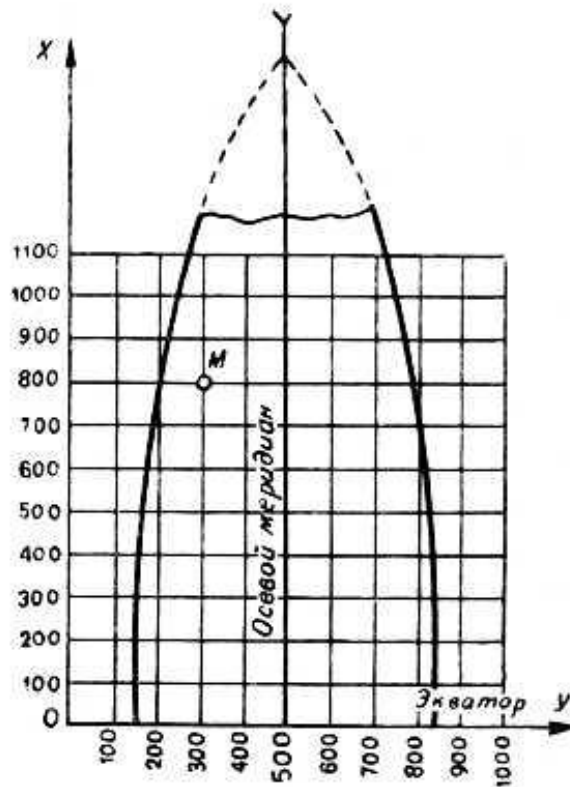
Кожна геодезична зона проєкції Гауса-Крюгера представляє особливу координатну систему. Початок координат кожної зони знаходиться в точці перетину екватора з середнім (осьовим) меридіаном зони. Система координат прямокутна. Осьовий меридіан і екватор приймають за координатні осі: **осьовий меридіан** за вісь абсцис (X), а **екватор** за вісь ординат (Y). Одиниця вимірювань – **метр** (або км).

Для того, щоб не мати справу з від'ємними ординатами (Y), умовно приймають **ординату початку координат за 500 км** (тобто збільшують усі значення ординат на 500 км).

Прямокутні координати



а)



б)

Примітка. Проекцію Гауса-Крюгера і систему координат **СК-42** можна замінити **Універсальною поперечною координатною системою Меркатора (UTM)**, яка має аналогічні властивості з СК-42. Але потрібно пам'ятати, що у західних системах координатна вісь X направлена на схід, а Y – на північ.

Системи координат

Прямокутні координати

СК-42

Отже, в прямокутній системі координат точка має дві координати:

X – відстань точки від екватора в метрах;

Y – відстань точки від осьового меридіану (умовне значення, враховуючи зсув у східному напрямку) в метрах.

При цьому, для **однозначного** визначення положення точки по прямокутних координатах на земній кулі **до значення координати Y ліворуч приписується номер геодезичної зони** (однозначне чи двозначне число), в якій знаходиться точка.

Залежність між **умовними координатами** і їхніми **дійсними значеннями** виражається формулами:

$$X' = X;$$

$$Y' = Y - 500\,000,$$

де X' і Y' - дійсні значення координат;

X, Y - умовні значення координат.

Прямокутну (кілометрову) сітку використовують для обчислення відстаней, площ об'єктів, напрямків, у разі виконання різноманітних геодезичних робіт, для зазначення цілей у військовій справі.

Наприклад, якщо точка має координати:

$$X = 5\,650\,450;$$

$$Y = 3\,620\,840,$$

то це значить, що точка розташована в 3-й зоні на віддалі 120 км 840 м від середнього меридіана зони (620 840 - 500 000) і до півночі від екватора на віддалі 5650 км 450 м.

2. Референцна система координат 1963 року (СК-63). Умовна система координат СК-63 ґрунтується на триградусних зонах, є відкритою системою і у відповідності до діючих нормативно-технічних документів, рекомендована як основна для кадастрових зніманих. Практичне застосування СК-63 ускладнюється можливістю попадання крупних об'єктів картографування в декілька зон, а також "таємністю" параметрів переходу ("ключів") від державної системи координат до СК-63 при відкритості самих координат в СК-63. Це спеціально спотворена СК, яка базувалася на проекції Гаусса-Крюгера і системі координат 1942 року. За математичною сутністю — це та ж система Гаусса-Крюгера, тільки номенклатура базових карт масштабу 1:100 000 побудована по-іншому.

Прив'язуються топографічні карти СК-63 до стандартної системи СК-42, виходячи з того, що обидві системи ґрунтуються на системі координат Гаусса-Крюгера, рамки аркушів розбиті по географічній сітці, а зміщення сітки кратні цілому числу мінут (одна мінута вздовж меридіана дорівнює 1 морській милі = 1 852 метрам, довжина міноти уздовж паралелі зменшується до півночі і на середніх широтах становить приблизно половину милі). При використанні деяких сучасних методів визначення місцеположення (GPS) необхідно вносити відповідні поправки у результати вимірювань для переходу в систему СК-63.

3. Державна геодезична референцна система координат УСК-2000. Система координат УСК-2000 встановлена за умови паралельності її осей просторовим осям Міжнародної загальноземної референцної системи координат ITRS. За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського. Система координат УСК-2000 чітко узгоджена з Міжнародною загальноземною референцною системою координат ITRS на епоху 2000 року — ITRF2000, яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі. УСК-2000 встановлена для виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт на території України постановою Кабінету Міністрів України "Деякі питання застосування геодезичної системи координат" від 22 вересня 2004 р. № 1259. З моменту введення системи координат УСК-2000 року при виконанні нових робіт вона замінила систему координат 1942 року, яка була введена постановою Ради Міністрів СРСР № 760 від 7 квітня 1946 року. УСК-2000 отримана в результаті сумісного вирівнювання пунктів Української перманентної мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем та Державної геодезичної мережі 1-4 класів на епоху 2005 року і закріплена пунктами Державної геодезичної мережі. УСК-2000 змодельована відповідно системи ITRS/ITRF2000 за умов:

- масштаб референцної системи дорівнює масштабу системи ITRS/ITRF2000;
- осі координат референцної системи паралельні осям координат системи ITRS/ITRF2000;
- розміщення центру референцної системи координат (суміщене з центром референц-еліпсоїда) забезпечує оптимальне відхилення поверхні референц-еліпсоїда від реальної поверхні Землі на територію України.

Параметри системи УСК-2000.

За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського з параметрами:

- велика піввісь 6 378 245 м;
- стиснення 1:298,3.

Положення пунктів в прийнятій системі координат визначається:

- просторовими прямокутними координатами X , Y , Z (вісь Z співпадає з віссю обертання еліпсоїда, вісь X лежить в площині нульового меридіану, а вісь Y доповнює систему до правої; початком системи координат є геометричний центр еліпсоїда);
- геодезичними (еліпсоїдальними) координатами: широтою — B , довготою — L , висотою — H ;
- плоскими прямокутними координатами x та y , які обчислюються в проекції Гауса-Крюгера;
- геодезична висота H утворюється, як сума нормальної висоти та висоти квазігеоїда над еліпсоїдом Красовського. Нормальні висоти геодезичних пунктів визначаються в Балтійській системі висот 1977 року, вихідним початком якої є нуль Крондштадського футштоку, а висоти квазігеоїда обчислюються над еліпсоїдом Красовського.

Системи координат

4. Місцеві системи координат. Положення про порядок встановлення місцевих систем координат було затверджено наказом Мінекоресурсів від 3.07.2001 року за № 245.

Місцеві системи координат встановлюються з метою мінімального спотворення проекції Гаусса-Крюгера, зручності у використанні і застосовуються при виконанні топографо-геодезичних робіт та створенні топографічних планів у масштабах 1:5 000, 1:2000, 1:1 000 та 1:500 на території міст та інших населених пунктів, промислових комплексів усіх галузей економіки, підприємств гірничодобувної та нафтодобувної промисловості.

Встановлення нової або внесення змін до існуючої місцевої системи координат проводиться у випадках:

- якщо на об'єктах не виконувались топографо-геодезичні роботи і відповідно не були встановлені місцеві системи координат;
- якщо місцеві системи були не зв'язані з державними системами;
- якщо об'єкти примикають один до одного і для кожного з них була встановлена своя місцева система координат.

Системи координат

Системи координат, що використовуються в європейській та світовій практиці

1. Міжнародна земна референсна система відліку (ITRF). ITRF — це загальноземна система відліку, яка задається та уточнюється Міжнародною службою обертання Землі (IERS). Вона визначається резолюцією № 2, прийнятою на двадцятій генеральній асамблеї IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) у Відні в 1991 році. В IERF положення будь-якої точки на поверхні Землі задається таким чином: IERSYY, де значення YY — це рік, дані якого були використані при реалізації системи. Наприклад, ITRF94 означає систему відліку, створену в 1995 році, для формування якої були використані дані за 1994 рік. На даний час відомі такі реалізації системи ITRF: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000.

Системи координат

Системи координат, що використовуються в європейській та світовій практиці

2. Європейська земна референцна система координат (ETRS89).

Підкомісія світової асоціації геодезії для Європи (EUREF), згідно своєї резолюції № 1, прийнятої на зустрічі в м. Файєрензі (Firenze) в 1990 році, рекомендувала, що загальноземна система відліку координат, яка буде прийнята EUREF, буде співпадати з системою ITRS на епоху 1989 року та буде зафіксована на стабільній частині Євразійської плити. Ця система отримала назву Європейська земна референцна система відліку координат 89 (ETRS89).

Система ETRS89 реалізована шляхом фіксування системи ITRS за параметрами масштабу, початку координат та орієнтації на епоху 1989 року. Практична реалізація системи ETRS89 здійснена через мережу станцій розташованих по всій території Європи, які закріплюють дану систему координат.

Розграфка і номенклатура карт.

Розграфка і номенклатура карт.

Розграфка, або нарізка карти – це система ділення багатолистової карти на аркуші.

Найчастіше використовують два види розграфки:

- **трапецієвидна**, при якій границями аркушів (листів) служать меридіани і паралелі;
- **прямокутна**, коли карта ділиться на прямокутні або квадратні аркуші однакового розміру.

В деяких випадках для зручності використання карт розграфка робиться з більш або менш значним перекриттям аркушів (наприклад, морські навігаційні карти перекриваються до 10 см).

З розграфкою безпосередньо пов'язана **номенклатура**, тобто система позначення аркушів у багатоаркушних серіях карт (наприклад, літерні та цифрові позначення окремих аркушів у прийнятій міжнародній системі розграфлення).

Розграфка і номенклатура карт.

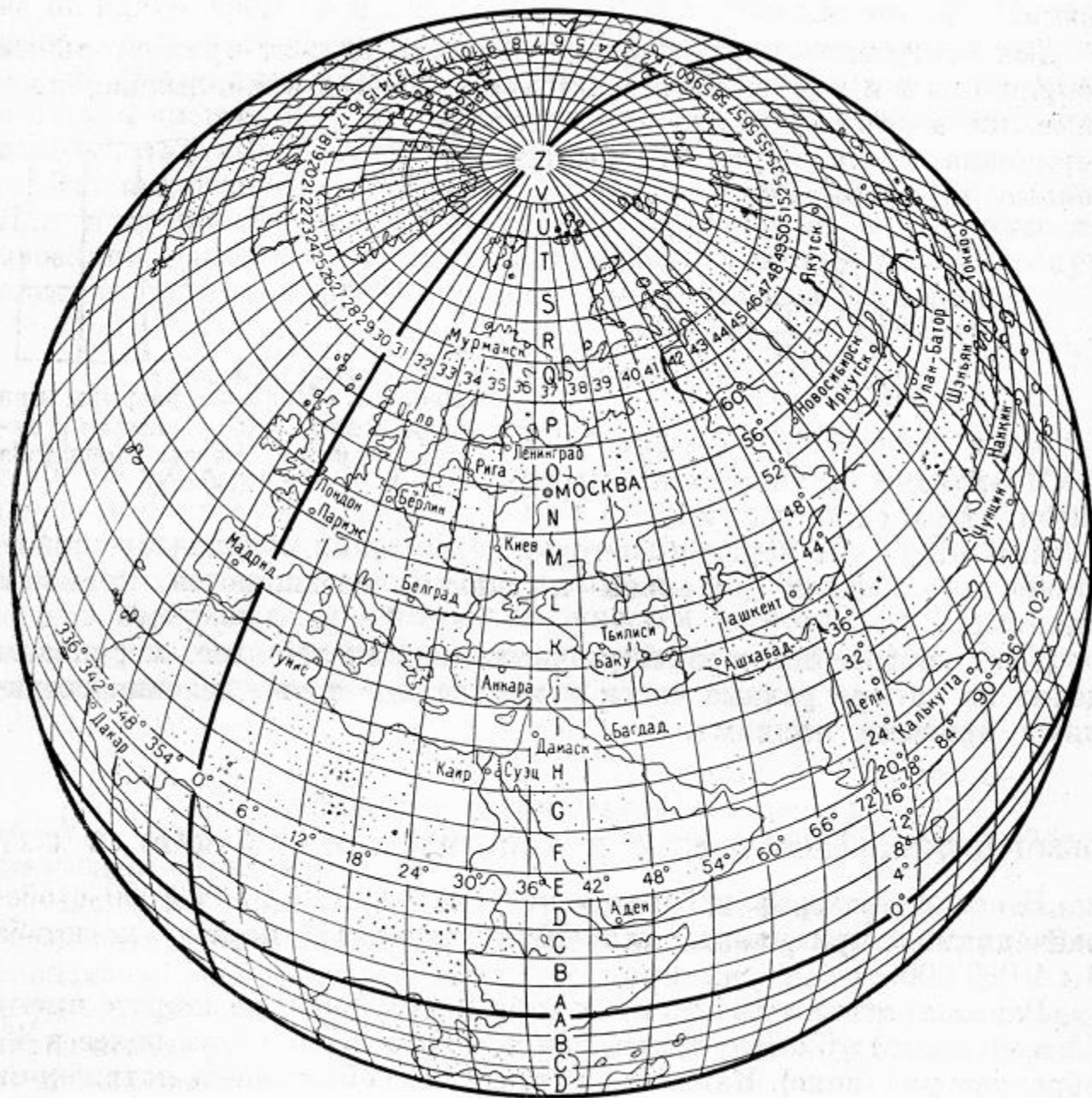
Міжнародна розграфка листів карти масштабу 1:1000000

За рішенням Міжнародного географічного конгресу, для створення системи топографічних карт за основу беруть карту світу в масштабі 1:1 000 000. Вона називається Міжнародною мільйонною картою світу. На ній усю земну кулю умовно поділяють меридіанами на 60 рівних частин (зон) - колони по 6°. Їх нумерують арабськими цифрами, починаючи від 180° меридіана із заходу на схід. Таким чином, колони 1 - 30 лежать у Західній півкулі, 31-60 - у Східній.

Слід відмітити, що положення зон в проекції Гауса-Крюгера співпадає з положенням зон (колон) міжнародної системи розграфки земної поверхні, але відрізняється за номером. Оскільки нумерація колон йде не від меридіана 0°, а від меридіана 180°, то номер зони (n) буде відрізнятися від номера колони (N) на 30:

$$N=n+30$$

Колони поділяють на широтні ряди по 4°. Їх позначають літерами латинської абетки від екватора в бік полюсів від А до Z. Іноді, щоб розрізнити півкулі Землі, для позначення Північної півкулі перед літерою ряду ставлять ще літеру N (від англ. north - північ), Південної - S (від англ. south - південь). Наприклад, NN, або SN.



Міжнародна розграфка листів карти масштабу 1:1000000

Розграфка і номенклатура карт.

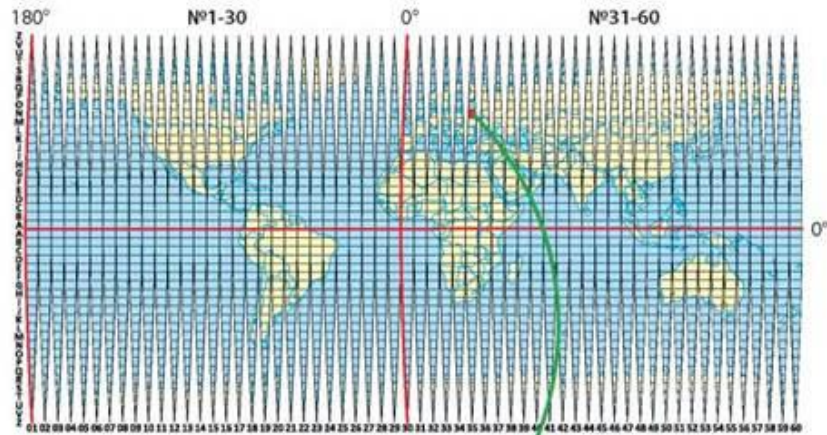
Внаслідок такого розграфлення земну кулю поділяють на трапеції розміром **6°** за довготою та **4°** за широтою. Номенклатура аркуша карти **1:1 000 000** у формі трапеції складається з літери ряду й номера колони. Наприклад, **N-36**.

Далі кожний аркуш поділяють на **144** рівні частини. Їх нумерують арабськими цифрами. Тому N-36-41 означає: 41-й лист із трапеції N-36. Так одержують аркуші карти масштабу **1:100 000** з розмірами 20' за широтою та 30' за довготою.

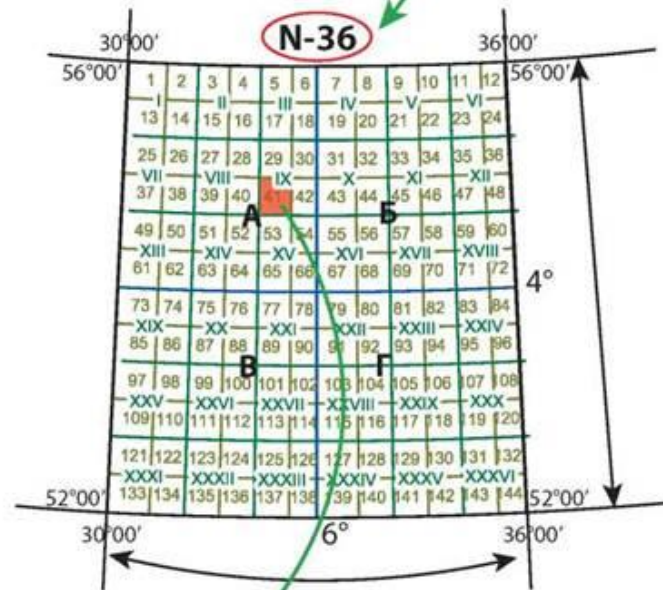
Потім даний лист поділяють на чотири менші аркуші й позначають великими літерами кирилиці: **А, Б, В, Г**. Масштаб такого аркушу - **1:50 000**. Його номенклатура - N-36-41-В, а розміри - 10' за широтою та 15' за довготою.

Потім ще раз кожний з одержаних аркушів поділяють на чотири ще менших. Їх підписують малими літерами кирилиці: **а, б, в, г**. Отже, номенклатура N-36-41-В-В означає: з трапеції N-36 виокремлено 41-й аркуш, з нього нижній лівий аркуш В, а з того, в свою чергу, нижній лівий аркуш в. Масштаб такого аркуша **1:25 000**; розміри аркуша - 5' за широтою та 7'5" за довготою.

Якщо створюють карту ще у більшому масштабі - **1:10 000**, то попередній аркуш знову поділяють на чотири частини розміром 2'30" за широтою та 3'45" за довготою. Їх позначають арабськими цифрами: **1, 2, 3, 4**. Номенклатура такого аркуша, наприклад, може бути такою: N-36-41-В-в-1.



Міжнародна система розграфлення карти масштабу 1:1 000 000 на аркуші



Міжнародна система розграфлення карти масштабу 1:1 000 000 на аркуші

III. Аркуш карти 30' д. × 20' ш. Масштаб 1:100 000 N-36-41	IV. Аркуш карти 15' д. × 10' ш. Масштаб 1:50 000 N-36-41-Б	V. Аркуш карти 7'30" д. × 5' ш. Масштаб 1:25 000 N-36-41-Б-в	III. Аркуш карти 3'45" д. × 2'30" ш. Масштаб 1:100 000 N-36-41-Б-в-1
---	---	---	---

Розграфка і номенклатура карт.

ПРИМІТКА:

N-кратні листи карт

Листи карт, розташовані між широтами 60-76°, здвоюються по довготі; наприклад, лист карти масштабу 1:1 000 000 по довготі матиме протяжність не 6, а 12°.

Здвоєні листи мільйонної карти позначаються вказанням ряду (буквою) і двох відповідних колон (непарним і наступним парним числом); наприклад, лист карти масштабу 1:1 000 000 на район м. Мурманська має номенклатуру R-35,36.

Здвоєні листи карт інших масштабів позначаються аналогічним чином: до номенклатури західного лівого листа приписується буква або номер східного листа (так, щоб об'єднувалися листи, що входять в одну трапецію листа карти дрібнішого масштабу), наприклад R-35-25,26.

Листи карт, розташовані північніше паралелі 76°, видаються зчетверенними по довготі (окрім листів карт масштабу 1:200 000, які видають строєними). Їх позначення виконується таким же порядком, як і здвоєних листів, тільки до номенклатури західного листа приписуються номери наступних трьох листів.

Номенклатура та розміри рамок карт різних масштабів

Масштаб карти	Приклад номенклатури	Розмір аркуша	
		за широтою	за довготою
1: 1 000 000	N-36	4°	6°
1 : 100 000	N-36-41	20'	30'
1 : 50 000	N-36-41-B	10'	15'
1 : 25 000	N-36-41-B-B	5'	7'30"
1 : 10 000	N-36-41-B-B-1	2'30"	3'45"

Розграфка і номенклатура карт.

Стандартні розміри листів карт різних масштабів вказані в таблиці.

Масштаб карти	Приклад номенклатури листа	К-ть листів на 1 лист 1:1 000 000	Розміри листа		На місцевості відповідає	
			по широті	по довготі	довжині бічної рамки листа, км	площі листа, кв. км
1:2 000	N - 37-144 -(256-в)	2304 (план)*	25"	37,5"		1
1:5 000	N - 37-144 -(256)	256 (план)*	1'15"	1'52,5"		4
1:10 000	N -37-144-Г-г- 4	64*	2'30"	3'45"		16
1:25 000	N -37-144-Г-г	16*	5'	7'30"	9	75
1:50 000	N -37-144-г	4*	10'	15'	18	300
1:100 000	N - 37-144	144	20'	30'	37	1200
1:200 000	N - 37 - XXVI	36	40'	1°	74	5000
1:500 000	N - 37 - A	4	2°	3°	220	44000
1:1 000 000	N - 37	1	4°	6°	440	175000

* - кількість листів дана на 1 лист масштабу 1:100 000.

Розграфка і номенклатура карт.

Номенклатура і класифікація топокарт за масштабом

Масштаб карти	Типи карт	Порядок утворення листа карти	Схема утворення листа карти	Розмір листа карти	Приклад номенклатури
1:1000000	Дрібно-масштабні	ділення земного еліпсоїда паралелями, меридіанами	6° 4°	4° × 6°	С-3
1:500000		ділення листа мільйонної карти на 4 частини	А Б В Г	2° × 3°	С-3-Б
1:200000	Середньо-масштабні	ділення листа мільйонної карти на 36 частин	XVI	40' × 1°	С-3-XVI
1:100000		ділення листа мільйонної карти на 144 частини	56	20' × 30'	С-3-56
1:50 000	Велико-масштабні	ділення листа карти М. 1:100 000 на 4 частини	А Б В Г	10' × 15'	С-3-56-А
1:25 000		ділення листа карти М. 1:50 000 на 4 частини	а б в г	5' × 7' 30"	С-3-56-А-б
1:10 000		ділення листа карти М. 1:25 000 на 4 частини	1 2 3 4	2' 30" × 3' 45"	С-3-56-А-б-4
1:5 000	Плани	256 листів на 1 лист масштабу 1:100 000		1' 15" x 1' 52,5"	С-3-144 -(256)
1:2 000		2304 листів на 1 лист масштабу 1:100 000		25" x 37,5"	С-3-144 -(256-в)

Розграфка і номенклатура карт. Номенклатура і класифікація топокарт за масштабом

Масштаб	Назва карти	Довжина листа		Число листів на лист масштабу 1:1000000	Приклад номенклатури листа	Тип карт
		По широті (по вертикалі)	По довготі (по горизонталі)			
1:1 000 000 (10 км в 1 см)	Мільйонна	4° (≈ 445 км)	6° (до 668 км)	1	N - 37	Дрібно- масштабні
1:500 000 (5 км в 1 см)	П'ятисоттисячна, або півмільйонна	2° (≈ 222 км)	3° (до 334 км)	4	N - 37 - А	
1:300 000 (3 км в 1 см)	Трьохсоттисячна	1°20' (≈ 166 км)	2° (до 222 км)	9	III - N - 37	Середньо- масштабні
1:200 000 (2 км в 1 см)	Двохсоттисячна	40' (≈ 83 км)	1° (до 111 км)	36	N - 37 - XXVI	
1:100 000 (1 км в 1 см)	Стотисячна	20' (≈ 37 км)	30' (до 56 км)	144	N - 37-144	
1:50 000 (500 м в 1 см)	П'ятдесяти- тисячна	10' (≈ 19 км)	15' (до 28 км)	576	N -37-144-г	Велико- масштабні
1:25 000 (250 м в 1 см)	Двадцятип'ятити- сячна	5' (≈ 9,3 км)	7' 30" (до 14 км)	2304	N -37-144-Г-г	
1:10 000 (100 м в 1 см)	Десятитисячна	2' 30" (≈ 4,6 км)	3' 45" (до 7 км)	9216	N -37-144-Г-г- 4	
1:5 000 (50 м в 1 см)	П'ятитисячна	1' 15" (≈ 2,3 км)	1' 52,5" (до 3,5 км)	36864	N - 37-144 -(256)	Плани
1:2 000 (20 м в 1 см)	Двохтисячна	25" (≈ 0,77 км)	37,5" (до 1,2 км)	331776	N - 37-144 -(256- в)	

THE END