KARTOGRAFINIŲ PROJEKCIJŲ KLASIFIKACIJA

Kartografinių projekcijų klasifikacija yra ganėtinai problemiškas reiškinys matematinės kartografijos teorijoje. Tai reiškia, kad yra gana daug kartografinių projekcijų klasifikacijų būdų, tačiau nėra nei vieno visaapimančio, tenkinančio įvairiapusius reikalavimus. Kartografinių projekcijų klasifikacijos yra paremtos išoriniai klasifikaciniais požymiais, kadangi genetinė (kilmės) klasifikacija yra paremta matematiniais principais ir gana sunkiai suvokiama kartografams. Dažniausiai naudojami kelių klasifikacijų rinkiniai, kurie ir plačiau nagrinėjami.

Kartografinių projekcijų klasifikaciniai požymiai.

Kartografines projekcijas klasifikuoja remiantis daugeliu kriterijų. Sujungus giminiškus požymius, galima skirti keletą klasifikacinių grupių, kurių pagrindu ir vykdoma projekcijų klasifikacija:

1. Požymiai, apimantys matematinius – geodezinius žemėlapio pagrindus: kartografuojamo paviršiaus forma, matematinės projekcijas aprašančios lygtys, pirminių diferencialinių lygčių pobūdis ir kiti.

2. Požymiai, apibūdinantys pačią projekciją: iškraipymų pobūdis ir dydis, kartografinio tinklo vaizdas, kartografinio tinklo specifiniai požymiai ir panašiai.

3. Požymiai nulemti žemėlapių paskirties, naudojimo ir vaizdo turinio.

4. Požymiai, nulemti kartografuojamų objektų forma, dydžiu ar geografine padėtimi.

Pirmos požymių grupės pagrindu skiriami:

1. Reguliarūs taisyklingos formos paviršiai (rutulys ir elipsoidas), kurių tyrimus ir analizę vykdo matematinė kartografija.

2. Realūs netaisyklingos formos paviršiai (asteroidų, kometų). Šių paviršių tyrimų metodika dar tik kuriama.

Pirmosios požymių grupės pagrindu G.Meščeriakovas šeštame dešimtmetyje sukūrė *genetinę kartografinių projekcijų klasifikaciją*. Ji remiasi diferencialinėmis lygtimis, aprašančiomis kartografines projekcijas. Šių matematinių lygčių sprendimas, siekiant sukurti kartografines projekcijas yra gana komplikuotas ir nelengvai sprendžiamas. Tokia klasifikacija, nors ir paremta matematiniu projekcijų kūrimo būdu yra sudėtinga, nepasižymi vaizdumu, todėl plačiau matematinėje kartografijoje nepaplito.

Svarbios yra kartografinių projekcijų klasifikacijos, paremtos *matematinių lygčių pobūdžiu* bei *kartografinio tinklo vaizdo orientacija*. Kartografinio tinklo vaizdo orientacija siejama su polių padėtimi sferinėse polinėse koordinačių sistemose. Šiuo požiūriu skiriami normalaus, skersinio ir įstrižo projektavimo būdai.

Klasifikacijos, kurios paremtos antra požymių grupe yra plačiausiai taikomos ir praktiškai naudojamos. Šia projekcijų grupei priskiriamos projekcijos, paremtos tokiais klasifikaciniais požymiais:

1. Iškraipymų pobūdis ir dydis.

2. Normalaus kartografinio tinklo vaizdas.

3. Matematinių elementų parametrų sandara.

Trečioji požymių grupė orientuoja žemėlapių sudarytojus į kiek galima praktiškesnes ir optimalias konkrečių žemėlapių projekcijas.

Ketvirtoji klasifikacinė grupė paremta individualiomis kartografuojamų objektų geografinėmis ypatybėmis.

Visų šių grupių požymių pagrindu kartografinės projekcijos skiriamos į:

I. Žemės rutulio (sferos) žemėlapių projekcijos:

II. Teminių ir bendrageografinių žemėlapių projekcijos:

1. **Pasaulio žemėlapiai.**
2. **Pusrutulių žemėlapiai.**
3. **Vandenynų žemėlapiai.**
4. **Žemynų ir poliarinių sričių žemėlapiai.**
5. **Žemynų dalių (stambių regionų) žemėlapiai.**
6. **Valstybių ir jų dalių žemėlapiai.**

III. Konkrečios paskirties žemėlapių projekcijos:

1. **Topografinių žemėlapių.**
2. **Bendrageografinių pasaulio žemėlapių, masteliais 1:1 000 000 ir 1:2 500 000.**
3. **Navigacinių žemėlapių.**
4. **Kosminės erdvės žemėlapiai:**
5. **Žvaigždėto dangaus žemėlapiai.**
6. **Planetų ir jų palydovų žemėlapiai.**
7. **Kometų ir asteroidų žemėlapiai.**

Kartografinių projekcijų klasifikacija, paremta iškraipymų pobūdžiu ir dydžiu.

Pagal iškraipymų pobūdį projekcijos skirstomos į lygiakampes, lygiatarpes, lygiaplotes ir laisvąsias.

1. Lygiakampės projekcijos – tai projekcijos, kuriose neiškraipomi krypčių kampai.

2. Lygiatarpės projekcijos – tai projekcijos, kuriose kampų ir plotų iškraipymai yra vienodi.

3. Lygiaplotės projekcijos, tai projekcijos, kurios neiškraipomi plotai.

4. Laisvosios projekcijos – tai projekcijos, kuriose iškraipomi krypčių kampai, plotai bei linijų ilgiai.

Tai viena plačiausiai naudojamų kartografinių projekcijų klasifikacijų. Šios klasifikacijos trūkumas tas, kad iš didelės gausos galimų laisvųjų projekcijų, klasifikacijoje atsižvelgiama tik į tris atskirus atvejus: lygiakampės → lygiatarpės → lygiaplotės.

Dažnai ši klasifikacija detalizuojama, kur iškraipomi dydžiai yra „norminami“. Skiriamos penkios tokių „sunormintų“ projekcijų gradacijos pakopos:

1. Lygiaplotės.

2. Projekcijos, kuriose nežymiai iškraipomi plotai. Jos užima tarpinę padėtį tarp lygiapločių ir lygiatarpių projekcijų.

3. Lygiatarpės. Jose vienodu mastu iškraipomi kampai ir plotai.

4. Projekcijos, kuriose nežymiai iškraipomi kampai. Jos užima tarpinė padėtį tarp lygiatarpių ir lygiakampių projekcijų.

5. Lygiakampės.

Daugiapakopės klasifikacijos trukumas – nenaudojami kiekybiniai rodikliai, apibūdinantys „nežymų“ kampų ar „nežymų“ plotų iškraipymą. Tai neleidžia aiškiai atskirti vienos gradacinės kartografinių projekcijų klasifikacinės pakopos nuo kitos. Gradacijos aiškumui buvo pasiūlytas lokalus kriterijus, susietas su krypčių kampais. Jis įvardijamas kaip klasifikacinis kampas. Nustatomas naudojant šią formulę:

$$\alpha = arctg\left[\frac{\left(\frac{a}{b}-1\right)}{(a\times b-1)}\right]$$

Ši formulė susideda iš dviejų dalių: skaitiklis charakterizuoja lokalų formos iškraipymą (kartu ir kampų iškraipymą), o vardiklis – lokalų ploto iškraipymą.

Formulės analizė rodo, kad lygiakampėse projekcijose bet kuriame taške dalinis žemėlapio mastelis nepriklauso nuo linijos krypties. Tai yra $a = b$, todėl ir $\alpha = 0$.

Lygiaplotėse projekcijose dalinis ploto mastelis lygus $p = a \times b = 1$. Tai reiškia, kad $\alpha = \frac{\pi}{2}$

Lygiatarpėse projekcijose formos (kampų) ir plotų iškraipymo įtaka yra vienoda, todėl formulėje $\alpha = \frac{\pi}{2}$ vardiklio reikšmės padvigubėja ir virsta $\alpha = \frac{\pi}{4}$.

Tai reiškia, kad remiantis klasifikaciniu kampu, kartografines projekcijas pagal iškraipymo pobūdį galima objektyviau suskirstyti:

1. Lygiakampės projekcijos $\alpha = 0.$

2. Lygiatarpės projekcijos $\alpha = \frac{\pi}{4}$

3. Lygiaplotės projekcijos $\alpha = \frac{\pi}{2}$

4. Laisvosios projekcijos $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$

Norint atskirti vieną pakopą nuo kitos, klasifikaciniam kampui suteikiamos konkrečios reikšmės. 8 lentelėje pateikiamas devynių gradacinių pakopų pavyzdys.

8 lentelė. Kartografinių projekcijų klasifikacija, paremta iškraipymo pobūdžio.

Klasifikacinis kampas α, laipsniais	Kartografinių projekcijų iškraipymo pobūdis
$\alpha = 0$	Lygiakampė
$0 < \alpha \leq 1$	Beveik lygiakampė
$1 < \alpha < 42$	Tarpinė tarp lygiakampės ir lygiatarpės
$42 \leq \alpha < 45$	Beveik lygiatarpė
$\alpha = 45$	Lygiatarpė
$45 < \alpha \leq 48$	Beveik lygiatarpė
$48 < \alpha \leq 89$	Tarpinė tarp lygiatarpės ir lygiaplotės
$89 < \alpha < 90$	Beveik lygiaplotė
$\alpha = 90$	Lygiaplotė

Kadangi kampo α reikšmė gali turėti nuokrypius, tai klasifikacijoje numatytos zonos, kur projekcijos įvardijamos kaip „beveik lygiatarpės“ ar „beveik lygiakampės“. Be to, lieka platūs kampo α reikšmių intervalai, kuriuose įsiterpia tarpinės lygiakampės – lygiatarpės ir lygiatarpės – lygiaplotės projekcijos.

Pateikto klasifikacinio varianto didžiausias trūkumas yra tas, kad klasifikacinis kampas α yra lokalus. Laisvosiose projekcijose jo reikšmės skirtinguose taškuose yra labai kaičios. Tai reiškia, kad vienose vietose projekcija turės lygiakampės požymių, o kitose lygiaplotės ir panašiai.

Viso žemėlapio iškraipymų įvertinimui naudojami variacinio pobūdžio rodikliai. Vienas iš būdų – kuomet klasifikacinio kampo lokalios reikšmės yra keičiamos jos absoliučių reikšmių sumomis. Absoliučios klasifikacinio kampo reikšmės nustatomos skirtingose žemėlapio vietose.

Kitas būdas – tai žemėlapio suskaidymas į mažo ploto segmentus. Kiekviename segmente nustatomos lokalių formos ir plotų iškraipymo reikšmės. Po to nustatomos jų vidutinės kvadratinės reikšmės. Po to skaičiuojamas formos ir plotų iškraipymo dydžių santykis, kurio reikšmių tangentas ir tampa gradaciniu rodikliu.

Apytikslėms klasifikacinio kampo reikšmėms nustatyti naudojami statistiniai duomenys, kurie gaunami analizuojant nedidelio ploto apskritimų iškraipymus įvairiose žemėlapio vietose.

Projekcijų skirstymas remiantis vien tik klasifikaciniu kampu nėra visiškai korektiškas. Tokia klasifikacija leidžia įsivaizduoti santykinius iškraipymus, tačiau neinformuoja apie absoliučias jų reikšmes. Jeigu plotų iškraipymas du kartus viršija formų iškraipymą, tai klasifikacinis kampas $\alpha = 26{,}5°$. **Jeigu formos iškraipymas du kartus viršija plotų iškraipymą, tai** $\alpha = 63{,}5°$.

Tokie neatitikimai reikalauja papildomos klasifikacijos, kuri turi remtis absoliučiais iškraipymų dydžiais.

Praktiniams sprendimams naudojami žemėlapiai, kuriuose iškraipymų dydžiai neturėtų viršyti 1 %. Tokie iškraipymai įvardijami kaip „labai maži“.

Tyrimams dažnai naudojami žemėlapiai, kuriuose formos ir plotų iškraipymai siekia iki 3%, o geografiniuose tyrimuose naudojami žemėlapiai, kur formų ir plotų iškraipymai siekia 5 %. Visi šie dydžiai įvardijami kaip „maži iškraipymai“.

Jeigu žemėlapiai naudojami vizualinei analize, tai iškraipymų dydžiai neturėtų viršyti 10 %. Tokios eilės iškraipymai įvaidijami kaip „nedideli“.

Tolimesnė iškraipymų gradacija įgyja santykinį pobūdį. Tai reiškia, kad kuo didesni iškraipymai, tuo objektų kontūrai žemėlapyje tampa mažiau panašūs į realius objektų kontūrus. Kita vertus, naudotojai sugeba atpažinti objektus (žemynus, salas, valstybių teritorijas) net ir tuo atveju, kai iškraipymų dydžiai (deformacijos) yra ženklūs. Remiantis tokiu požiūriu, kartografines projekcijas galima klasifikuoti pagal iškraipymų mastą (9 lentelė).

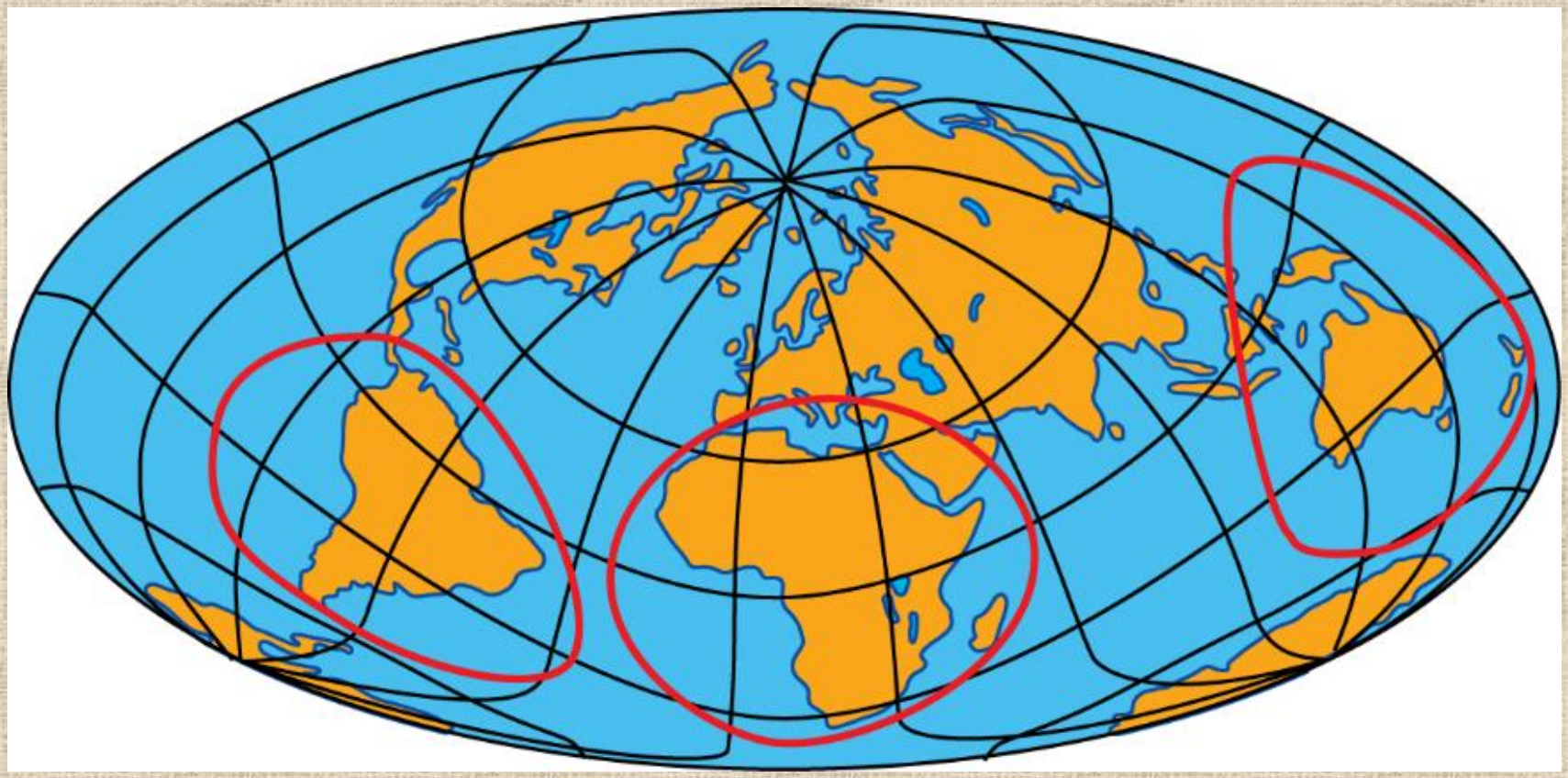
9 lentelė. Kokybinė iškraipymų klasifikacija.

Iškraipymai, %	Verbalinis iškraipymų apibūdinimas
0 – 1	Labai maži
1 – 5	Maži
5 – 10	Nedideli
10 – 50	Vidutiniai
50 – 100	Dideli
virš 100	Labai dideli

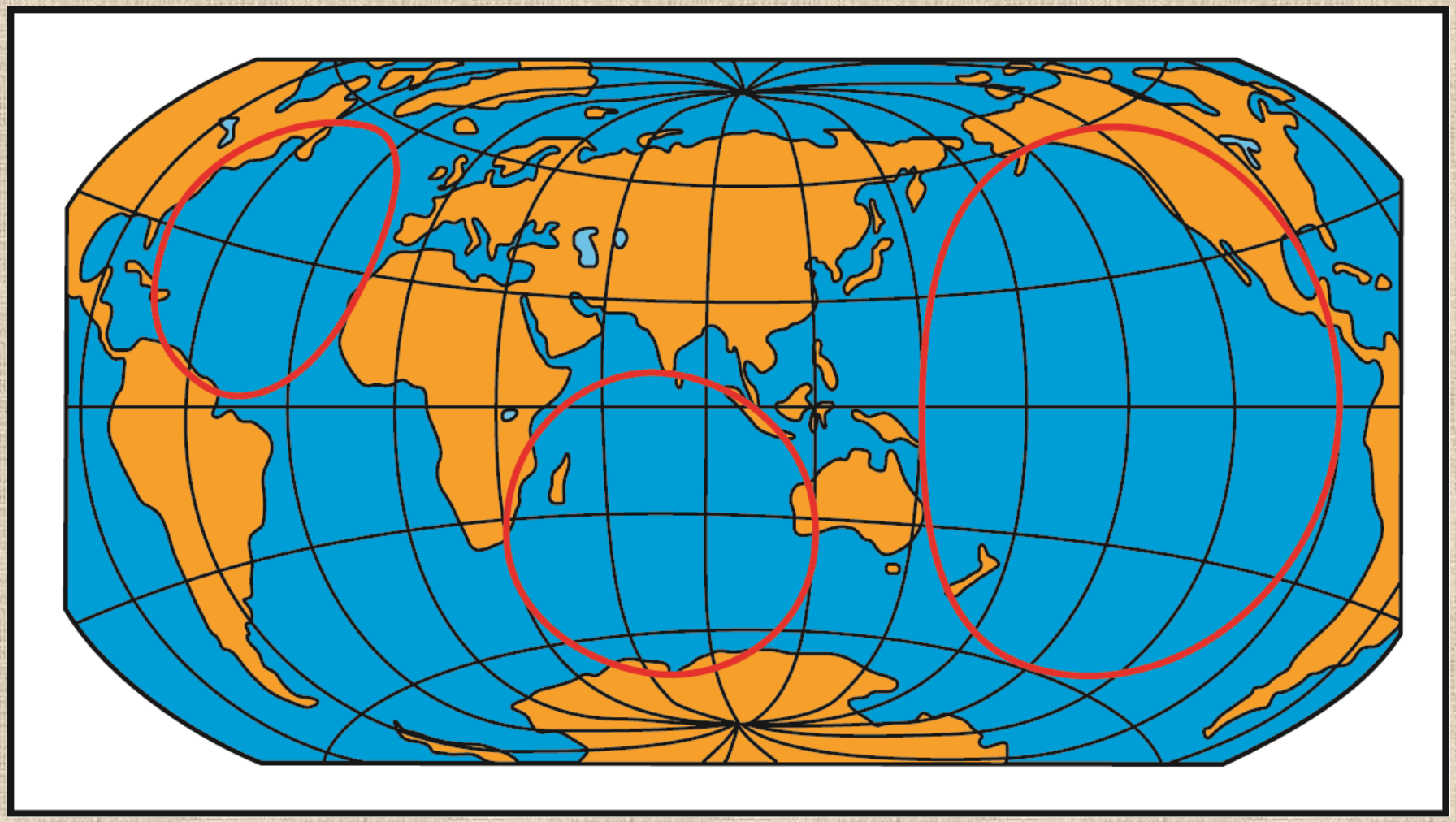
Keletas minėtų klasifikacijų panaudojimo pavyzdžių: 17 paveiksle pateikta lygiaplotė Viljamo Briezemeisterio projekcija, kurioje įbrėžtos trys figūros, iliustruojančios vaizdo iškraipymus Pietų Amerikoje, Afrikoje ir Australijoje. Šių žemynų vaizdas iškraipytas nevienodai. Afrikos žemynui būdingas nedidelis ilgių iškraipymas (7%) ir vidutiniškas formos iškraipymas (29%). Pietų Amerikos ir Australijos žemynams vidutiniškai iškraipyti linijų ilgiai (20 – 23 %) ir labai smarkiai iškraipytos formos (102 – 104 %).

Toliau sekančiame paveiksle pateikta laisvoji projekcija, kurioje nubrėžtos figūros, iliustruojančios iškraipymus Šiaurės Atlanto, Indijos ir Ramiajame vandenynuose. Klasifikacijos kampas Indijos vandenynui lygus 28,5º. Ši projekcijos dalis (kartografuojamas plotas) yra artimesnė lygiakampėms projekcijoms. Apskritimo formos iškraipymas siekia 12 %, o plotų iškraipymas – 21 %. Šiaurės Atlanto ir Ramiajam vandenynui klasifikacijos kampas siekia 60º. Šios projekcijos dalys pagal iškraipymų pobūdį artimesnės lygiatarpėms projekcijoms. Ramiajam vandenynui plotų iškraipymai siekia 40 %, o formos iškraipymas – 67 %. Šiaurės Atlantui ploto iškraipymai siekia 60%, o formos iškraipymai - 104%.

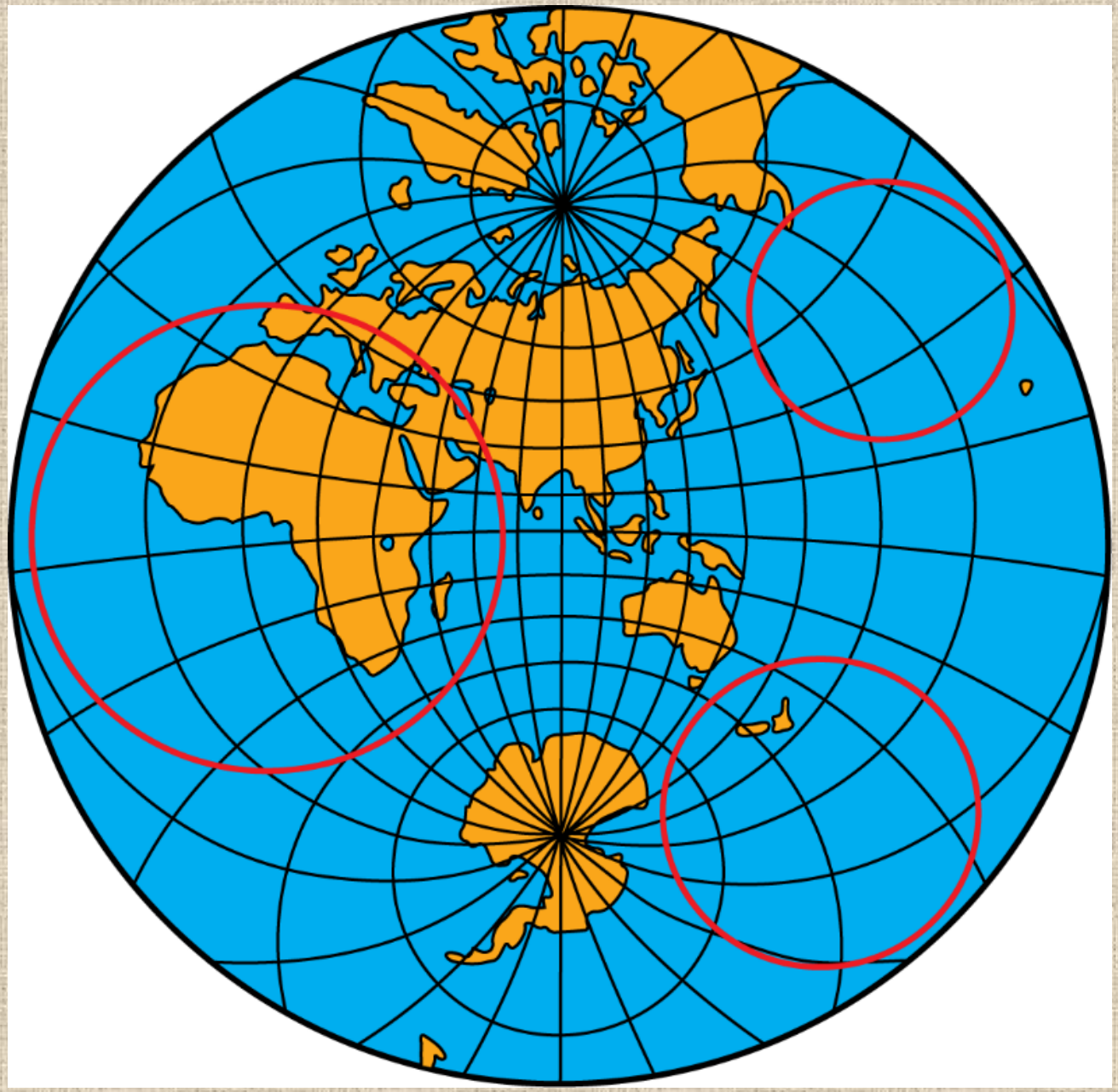
19 paveiksle pateikti lygiakampės projekcijos iškraipymai. Šioje projekcijoje neiškraipomi kampai, todėl ir apskritimų forma neiškraipoma. Stereografijos koeficientas šioje projekcijoje lygus 1 (k_w =1). Tačiau išskirtose vietose žemėlapyje stipriai iškraipoma forma (52 – 94 %) ir ypatingai stipriai iškraipomi plotai (228 – 543 %).



Apskritimai, iliustruojantys žemynų formos iškraipymus lygiaplotėje projekcijoje.



Formos iškraipymai laisvojoje projekcijoje.



Figūros, iliustruojančios formų iškraipymą stereografinėje azimutinėje projekcijoje

Kartografinių projekcijų klasifikacija remiantis normalaus kartografinio tinklo vaizdu

Analizuojami tik dviejų formalizuotų kūnų (rutulio ir elipsoido) paviršiaus perkėlimas į plokštumą ir jų kartografinių tinklo vaizdai. Klasifikacijos pagrindas – paralelių ir meridianų raštas, esant normaliam kartografinio tinklo orientavimui. Rutulio atveju normalus kartografinis tinklas (paralelės ir meridianai) sutampa su almukantaratų ir vertikalų tinklu, kuriuos galima laikyti papildomu kartografiniu tinklu. Elipsoido atveju paralelių ir meridianų tinklas beveik sutampa su almukantaratų ir vertikalų tinklu.

Kartografinių projekcijų klasifikacija, paremta kartografinio tinklo vaizdu yra labai populiari, kadangi ji pasižymi dideliu akivaizdumu. Ši klasifikacija yra kelių lygmenų, o kartografinių projekcijų skaičius, paremtas šia klasifikacija pastoviai papildomas. Be to, visos projekcijos randa platų pritaikymą. Šios klasifikacijos trūkumas – klasifikuojama remiantis išoriniais požymiais, o ne genetine kartografinių projekcijų prigimtimi. Tai reiškia, kad tokia klasifikacija neapima visos kartografinių projekcijų įvairovės. Egzistuoja keletas projekcijų, kurias tenka išskirti kaip visiškai atskiras nesistemines struktūrines dalis. Tokios projekcijos įvaidijamos kaip įvairialypės (angliškai *miscellaneous*).

Įprastai skiriamos 9 projekcijų klasės, paremtos kartografinio tinklo išorine išvaizda:

1. Azimutinės.
2. Pseudoazimutinės.
3. Kūginės (konusinės).
4. Pseudokūginės (pseudokonusinės).
5. Polkūginės (polikonusinės).
6. Cilindrinės (ritininės).
7. Pseudocilindrinės (pseudoritininės).
8. Daugiazimutinės (poliazimutinės).
9. Daugiacilindrinės (policilindrinės).

Visos šios projekcijų grupės yra jungiamos į du poklasius:

I. Projekcijos, kuriose paralelės (lygiagretės) išlaiko pastovų kreivumą. Tai projekcijos, kur paralelės gali būti lygiagrečios tiesės, apskritimų lankai ar apskritimai. Tokių projekcijų yra daugiausiai.

II. Projekcijos, kuriose paralelės turi kintamą kreivumą. Šiose projekcijose paralelės yra elipsės, elipsių lankai ar sudėtingos formos kreivėmis. Šiam poklasiui priskiriamos poliazimutinės, polikūginės ir policilindrinės projekcijos.

Matematiniu požiūriu antrasis poklasis potencialiai yra gausesnis. Kita vertus, teoriniai antrojo poklasio projekcinių tyrimai vykdomi labai siaurai, kadangi formos iškraipymai jose yra dideli, kas riboja praktinį jų pritaikymą.

Visos minėtos 9 projekcijų klasės yra grupuojamos į azimutinių, kūginių ir cilindrinių projekcijų grupes. Kiekviena grupė skirstoma dar į keturis pogrupius, kurių trys apima pirmąjį poklasį (projekcijos, kuriose paralelės išlaiko pastovų kreivumą), o vienas įeina į antrąjį (projekcijos, kuriose paralelės turi kintamą kreivumą). Kiekvienoje grupė turi specifinius projekcijas jungiančius bruožus bei bazinį klasės pagrindą, lemiantį klasių pavadinimus grupėje. Kitų klasių pavadinimai grupėje sutampa su baziniu klasės pavadinimu ir skiriasi priešdėliais poli– bei pseudo– (10 lentelė).

Bazinių klasių projekcijos (azimutinės, kūginės, cilindrinės) turi ortogonalinius tinklus, kur pasaulio dalių kryptys yra sutapatintos su meridianų (šiaurė–pietūs) ir paralelių (rytai–vakarai) linijomis. Normalaus projektavimo atvejus izokolos sutampa su paralelėmis, o skersinio ir įstrižo projektavo atveju – su almukantaratais. Normalaus projektavimo atveju viena projekcija nuo kitos skiriasi tik tarpais tarp paralelių (almukantaratų).

10 lentelė. Kartografinių projekcijų klasifikacija, paremta normalaus kartografinio tinklo forma.

Kartografinių projekcijų grupės		
Azimutinių	Kūginių	Cilindrinių
Pastovaus kreivumo paralelės		
Azimutinės	Kūginės	Cilindrinės
Pseudoazimutinės	Pseudokūginės	Pseudocilindrinės
Poliazimutinės	Polikūginės	Policilindrinės
Kintamo kreivumo paralelės		
Poliazimutinės	Polikūginės	Policilindrinės

Azimutinių projekcijų grupė

Šių projekcijų grupė dažniausiai skirta poliarinių sričių kartografavimui, kur poliarinės sritys pateikiamos vientisai be trūkių. Paralelės šiose projekcijose pateikiamos apskritimais ar apskritimų lankais.

***Azimutinės projekcijos*. Pirmosios azimutinės projekcijos pradėtos kurti V amžiuje prieš mūsų erą. Šios projekcijos pasižymi tuo, kad nuliniai iškraipymai yra tik viename taške arba vienoje paralelėje (almukantarate) (kertančiosios plokštumos atveju).**

Azimutine kartografine projekcija vadinama projekcija, kurios normalaus kartografinio tinklo paralelės yra koncentriški apskritimai, o meridianai – visomis kryptimis išeinantys spinduliai. Meridianų pradžios taškas – koncentriškų apskritimų centras. Kampai tarp meridianų yra pastovūs.

Pagrindinės naudojamos azimutinės projekcijos yra šios:

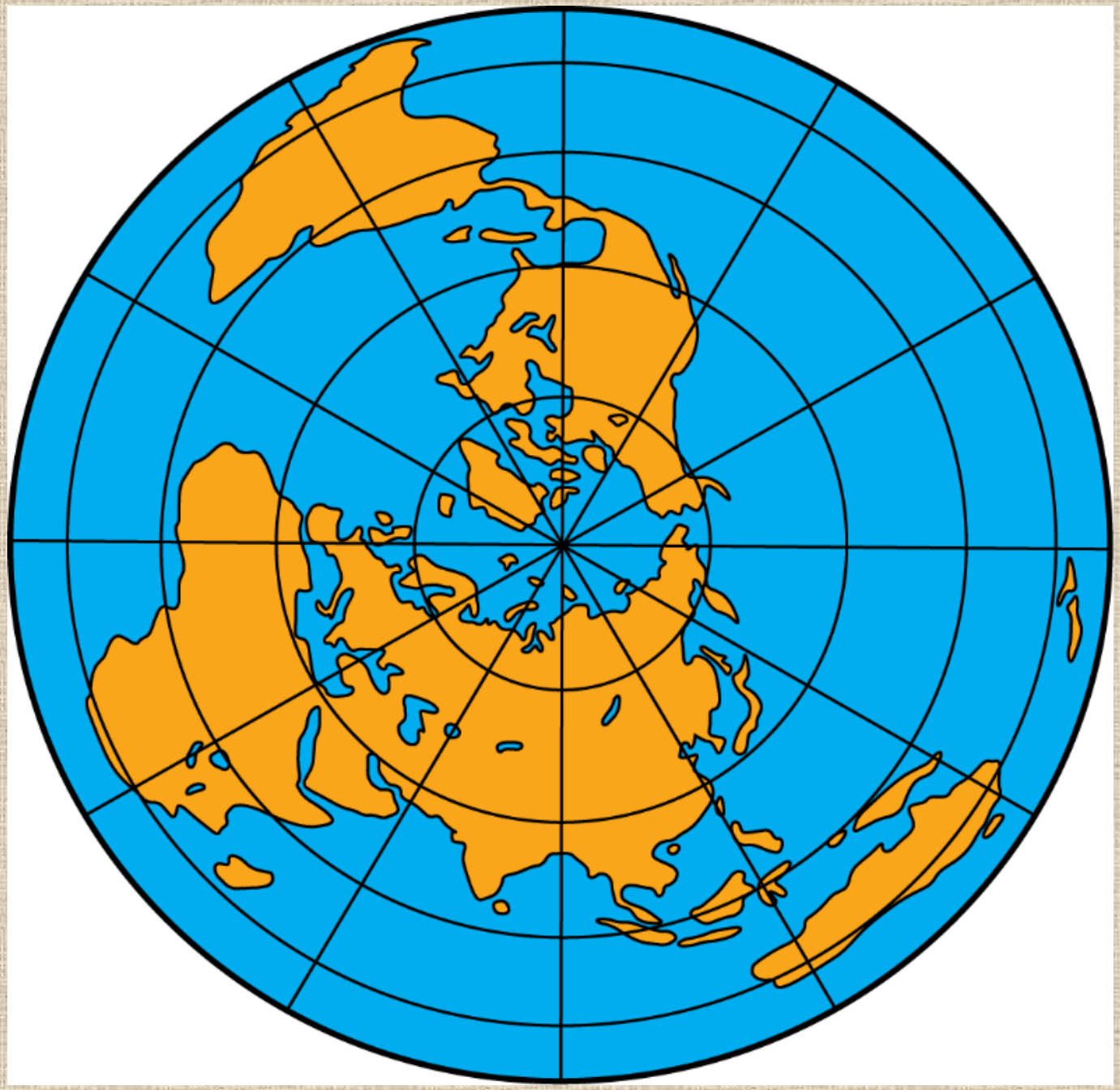
1. Gnomoninė azimutinė projekcija. Senovės Graikijoje Talis Miletietis šią projekciją naudojo žvaigždžių padėčiai dangaus skliaute kartografuoti. Projekcija turi svarbią savybę – ortodroma (trumpiausia linija tarp dviejų taškų rutulio paviršiuje) yra tiesė. Tai lėmė, kad gnomoninė azimutinė projekcija buvo plačiai naudojama navigacijoje.

2. Stereografinė azimutinė projekcija. Ją pirmasis panaudojo graikų astronomas Hiparchas (II amžius prieš mūsų erą). Vėliau ją nagrinėjo ir savybes apibūdino Klaudijas Ptolemajas. Projekcija lygiakampė. Stereografinėje azimutinėje projekcijoje, kaip ir azimutinėje gnomoninėje, ortodroma yra tiesė. Kita svarbi savybė – bet kokio dydžio apskritimas, nubrėžtas gaublio paviršiuje, šios projekcijos žemėlapio plokštumoje išlieka apskritimu. Tai lėmė, kad toks projektavimo būdas naudojamas ligi šiol kristalografijoje ir elektrotechnikoje.

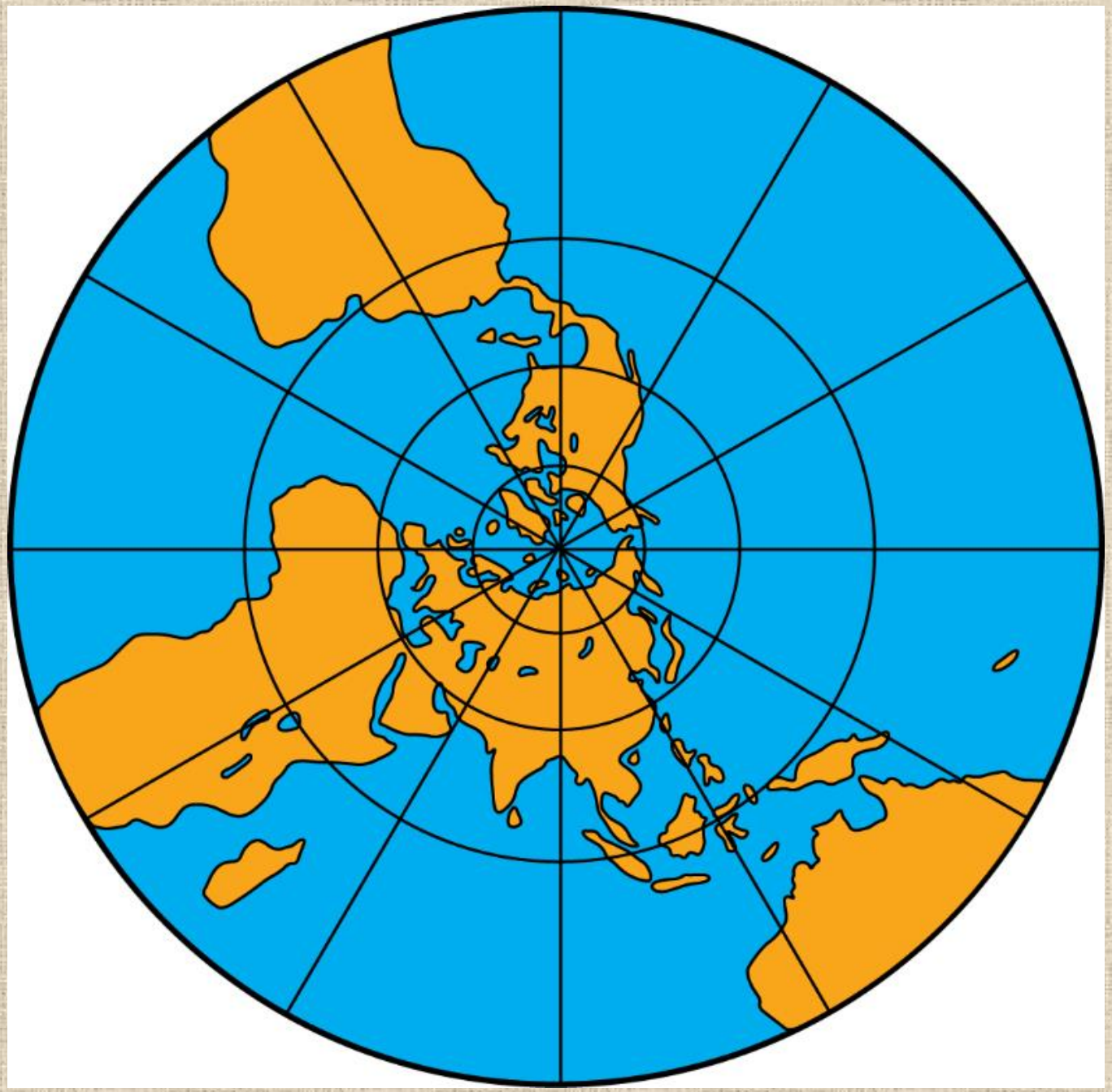
3. Lygiatarpė azimutinė projekcija. Naudota senovės Egipte dangaus skliautui kartografuoti. Naujaisiais laikais ją pritaikė Giuljemas Postelis (1510 – 1581). Šioje projekcijoje linijos, sutampančios su meridianų kryptimis (išcentrinės) neiškraipomos. Tai leidžia šią projekciją naudoti aeronavigacijoje, kartografuojant seisminius reiškinius, kur svarbu tiksliai pateikti atstumą nuo centrinio taško.

4. Lygiaplotė azimutinė projekcija. Ją sukūrė vokiečių matematikas Johanas Heinrichas Lambertas. Plačiai naudojama pusrutulių, žemynų ir vandenynų žemėlapiams sudaryti.

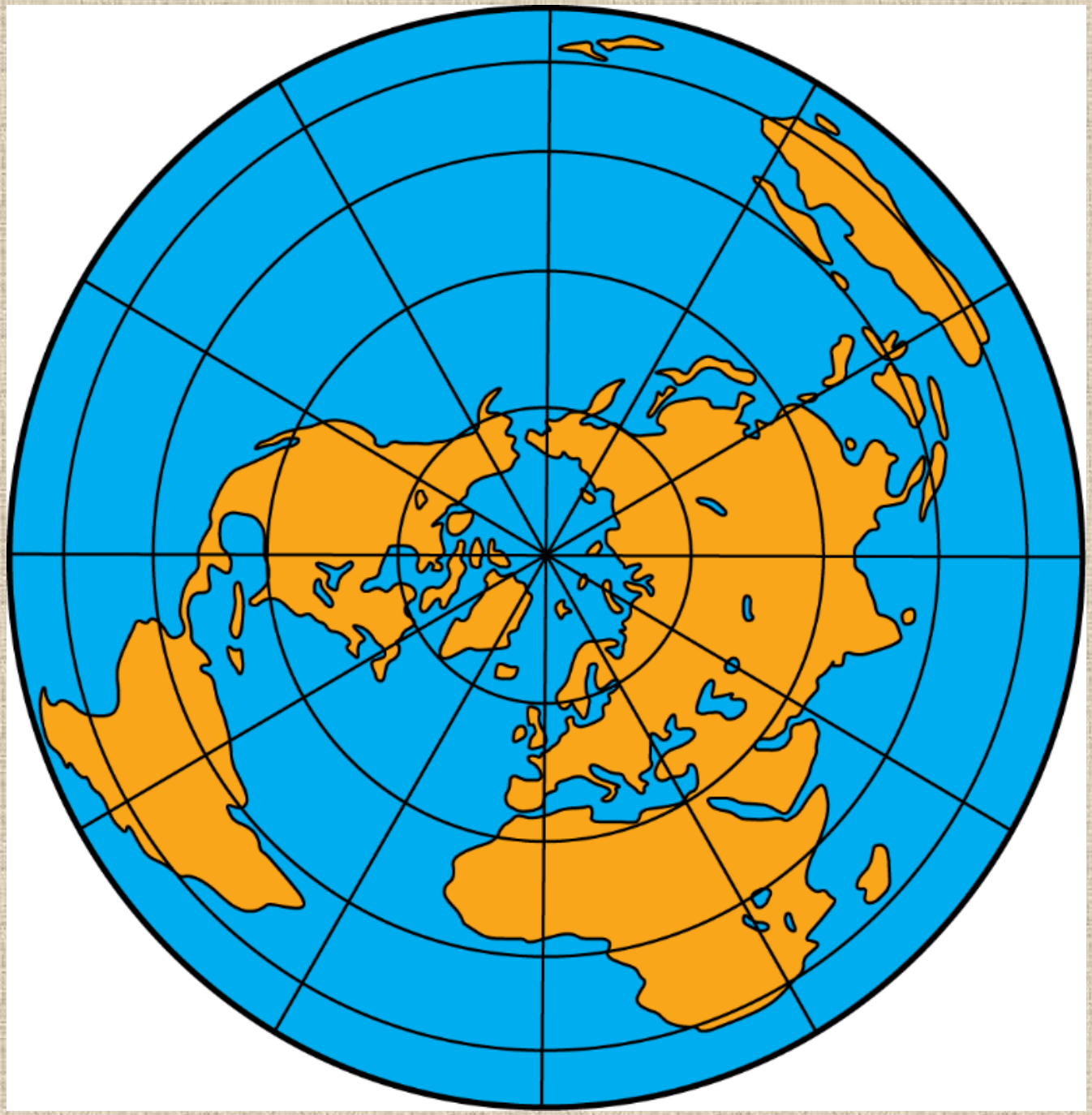
5. Išorinė azimutinė projekcija. Tai tarpinis stereografinės – ortografinės azimutinės projekcijos atvejis. Projekcija taikoma kosminėms nuotraukoms sudaryti. Pradėta naudoti Žemės formos kartografavimui. Pirmasis ją apibūdino Filypas de la Hiras (1701). Vėliau ją nagrinėjo Artūras Klarkas (1862), Eduardas Hameris (1890).



Normali azimutinė lygiaplotė projekcija. Tarpai tarp paralelių tolstant nuo ašigalio trumpėja.



Normali azimutinė lygiakampė stereografinė projekcija. Tarpai tarp paralelių, tolstant nuo ašigalio didėja.



Azimutinė meridianinė lygiatarpė projekcija

Jungtinių tautų ženklas - azimutinė meridianinė lygiatarpė projekcija

6. Ortografinė azimutinė projekcija. Projekcija sukurta toli nutolusiems dangaus kūnams projektuoti. Pavyzdžiui, Mėnuliui. Naudota senovės Egipte ir antikinių graikų: Apolonijaus iš Apamėjos, Hiparcho. Naudojama normali, skersinė ir įstriža azimutinės projekcijos. Normalaus projektavimo atveju skiriasi tik tarpai tarp paralelių. Tai rodo, kad sudarant ortografines azimutines projekcijas susiejami ilgių ir plotų iškraipymai. Lygiaplotėje normalioje azimutinėje projekcijoje, tolstant nuo ašigalių, tarpai tarp paralelių mažėja, lygiakampėje azimutinėje normalioje projekcijoje tarpai tarp paralelių didėja. Tuo tarpu azimutinėse normaliose projekcijose, kurios sudaromos rutulio paviršiui, tarpai tarp paralelių lieka pastovūs. Izokolos normalaus projektavimo atveju sutampa su paralelėmis, o skersinio ir įstrižo projektavimo atvejais – su almukantaratais. Visose azimutinėse projekcijose iškraipymų izokolos yra apskritimo formos.

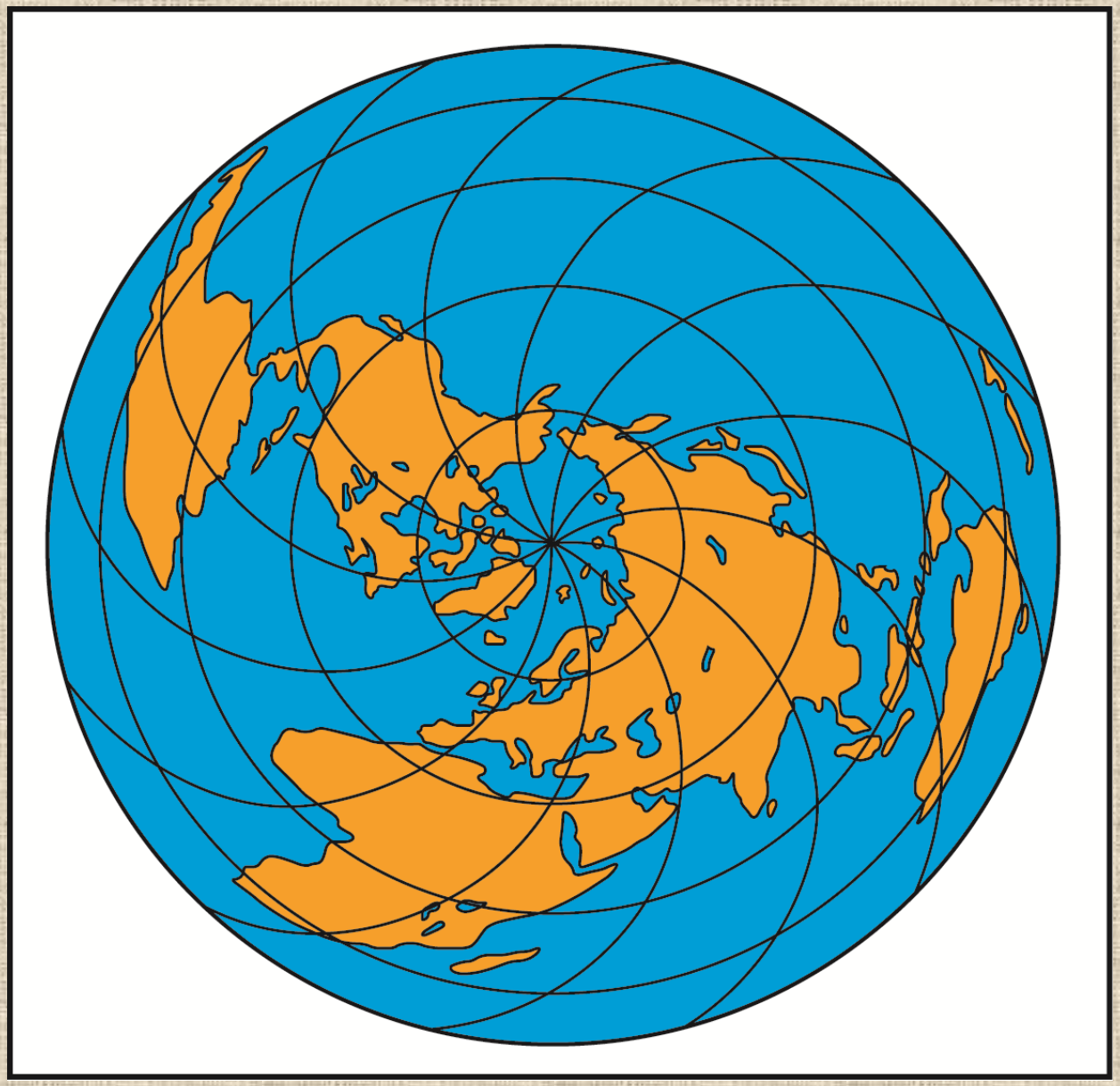
7. Meridianinė azimutinė projekcija. Šiose projekcijose vaizdo transformacija vyksta meridianų kryptimi. Kartografinis vaizdas „tempiamas“ arba „spaudžiamas“. Tempimą ar spaudimą rodo tarpai tarp meridianų. Jie gali didėti ar mažėti. Tokiu būdu transformuojama forma ilgumos kryptimi.

Pseudoazimutinės projekcijos. **Nuo azimutinių projekcijų jos skiriasi meridianų tinklo išvaizda.**

Pseudoazimutine projekcija vadinama projekcija, kurios normalaus kartografinio tinklo paralelės yra koncentriški apskritimai, o meridianai – visomis kryptimis išeinančios kreivės. Meridianų pradžios taškas – koncentriškų apskritimų centras.

Viena tokių yra Hermano Viechelio projekcija, sukurta 1879 metais. Meridianai ir paralelės šioje projekcijoje turi lankų formą, sukuriančia sūkurio įvaizdį. Vienas ašigalis, esantis žemėlapio centre pavaizduotas tašku, antrasis jam priešingas – dideliu apskritimu. Meridianų kryptimi išlaikomas ilgio mastelis. Tai lygiaplotė projekcija, kuri pasižymi ženkliu formų iškraipymu.

Pseuazimutinėse projekcijose kai kuriais atvejais meridianai gali būti tiesės. Dažniausiai naudojami skersinis ir įstrižas pseudoazimutinės projekcijos atvejai. Keletą tokių projekcijų XX amžiaus penktajame dešimtmetyje sukūrė Grigorijus Ginzburgas. Jos buvo skirtos pasaulio ir vandenynų žemėlapiams sudaryti.



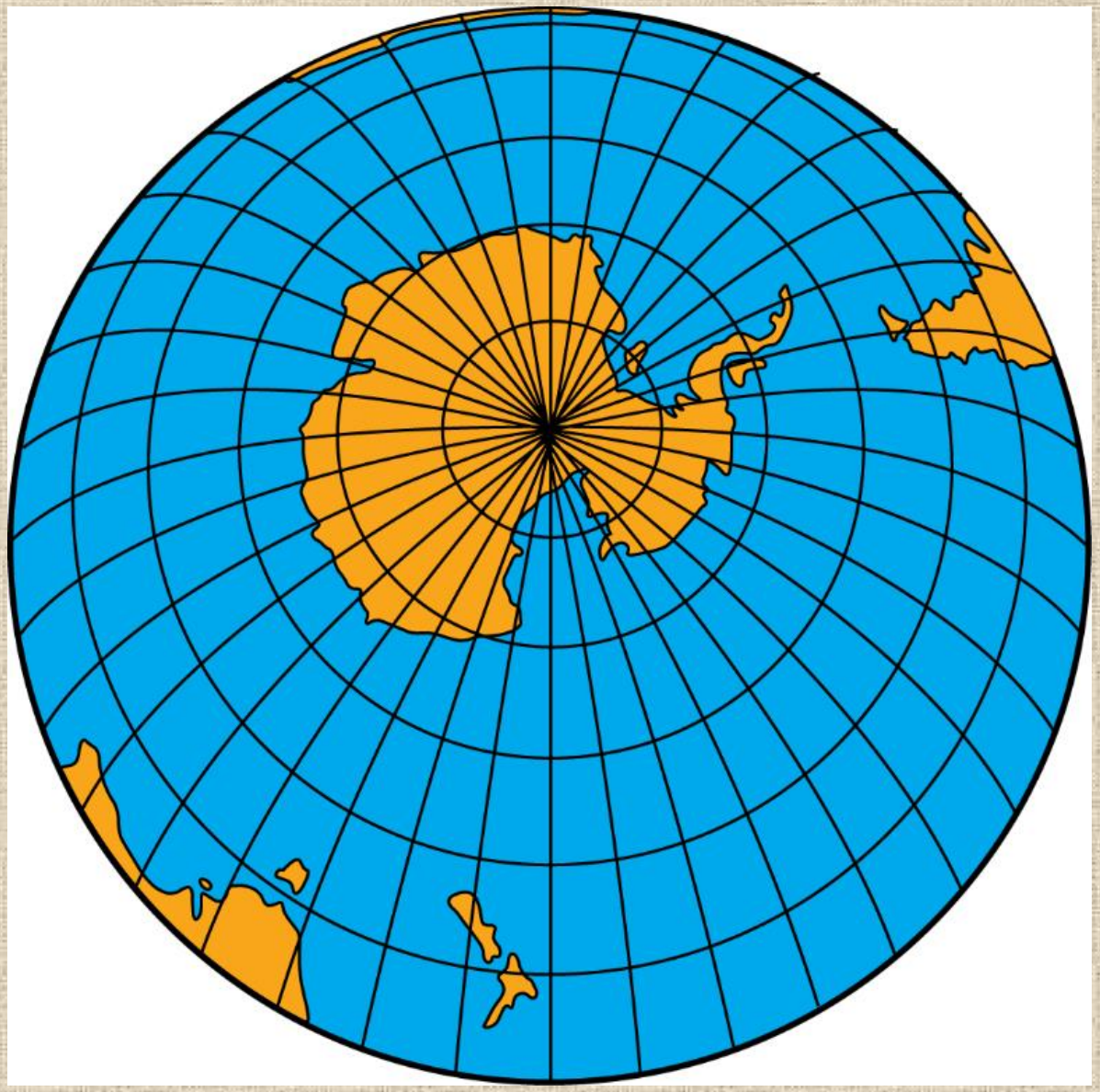
Normali pseudoazimutinė lygiaplotė Vichelio projekcija.

***Poliazimutinės projekcijos*. Jos yra dviejų rūšių. Poliazimutinėse projekcijose su pastoviu paralelių kreivumu poliaus padėtis parenkama ne didžiojo apskritimo centre, o yra įvairiai nuo jo nutolusi.**

Poliazimutine projekcija vadinama projekcija, kurios normalaus kartografinio tinklo paralelės yra ekscentriški apskritimai, o meridianai – visomis kryptimis išeinančios kreivės. Meridianų pradžios taškas – koncentriškų apskritimų centras, o paralelių centrai yra ant vidurinio meridiano.

Šios projekcijos pradėtos kurti XX amžiaus pabaigoje, kas lėmė, kad teoriniai tokių projekcijų kūrimo aspektai dar mažai nagrinėti. Projekcijos pasižymi galimybe „vartyti“ Žemės kūną ir „atgręžti“ į vartotoją reikalingas vietas. Jos yra tinkamos edukaciniams tikslams – galimybė akivaizdžiai pavaizduoti norimas teritorijas.

Poliazimutinėse projekcijose su kintančiu paralelių kreivumu paralelės yra pateikiamos elipsėmis, ovalais ar tolydžiomis uždaromis kreivėmis. Jeigu žemėlapyje pateikiama tik dalis paralelės, ji vaizduojama kreive. Meridianai šiose projekcijose yra tiesės ar kreivės, išeinančios iš vieno taško, kuri atitinka geografinį ašigalį. Erdvė aplink ašigalius pateikiama be trūkių. Tokios projekcijos tinka triašio elipsoido paviršiui kartografuoti. Poliazumutinės kintančio kreivumo paralelių projekcijos naudojamos kitų planetų ir kitų dangaus kūnų paviršiui kartografuoti: Marso palydovas Fobosas.



Laisvoji normali poliazimutinė projekcija. Paralelės – ekscentriški apskritimai, maridianai – kreivės, išeinančios iš vieno taško

Kūginių projekcijų grupė

Tai projekcijų, kurios turi bendriausią kartografinio vaizdo išraišką, grupė. Galima teigti, kad azimutinės ir cilindrinės projekcijos yra „ekstremalūs“ (išskirtiniai) kartografinių projekcijų atvejai. Tuo tarpu kūginės kartografinės projekcijos apimtų „vidurinę“ (tarpinę) zoną. Kūginių projekcijų esminis trūkumas – tai, kad polių srityse paviršiaus erdvė pateikiama su trūkiais. Visų pirmo ir antro poklasio projekcijose paralelės yra koncentriškų apskritimų lankai.

Kūginės projekcijos. **Šios projekcijos kurtos jau antikinėje Graikijoje. Pagalbiniu kūnu, kuriant kūgines projekcijas pagalbiniu kūnu naudotas konusas (kūgis).**

Kūgine kartografine projekcija vadinama projekcija, kurios normalaus kartografinio tinklo paralelės yra koncentriškų apskritimų lankai, o meridianai – jų spinduliai, išeinantys iš vieno taško, o kampai tarp meridianų yra proporcingi jų geografinei ilgumai.

Kūginėse projekcijose polių srityse yra trūkiai. Šiuos trūkius nulemia sąlyga, kad visas apskritimo ilgis kinta nuo - π iki π. Šio sektoriau dydis žemėlapyje yra visada mažesnis nei 2π. Dėl šios priežastie kampai tarp meridianų žemėlapyje nėra lygūs realiam meridianų atstumui, o tik proporcingas jam. Proporcingumo koeficientas α parodo meridianų suspaudimo sektoriuje laipsnį ir yra vienas iš esminių kūginių projekcijų parametrų.

Jo reikšmės yra intervale tarp $0 < \alpha < 1$.

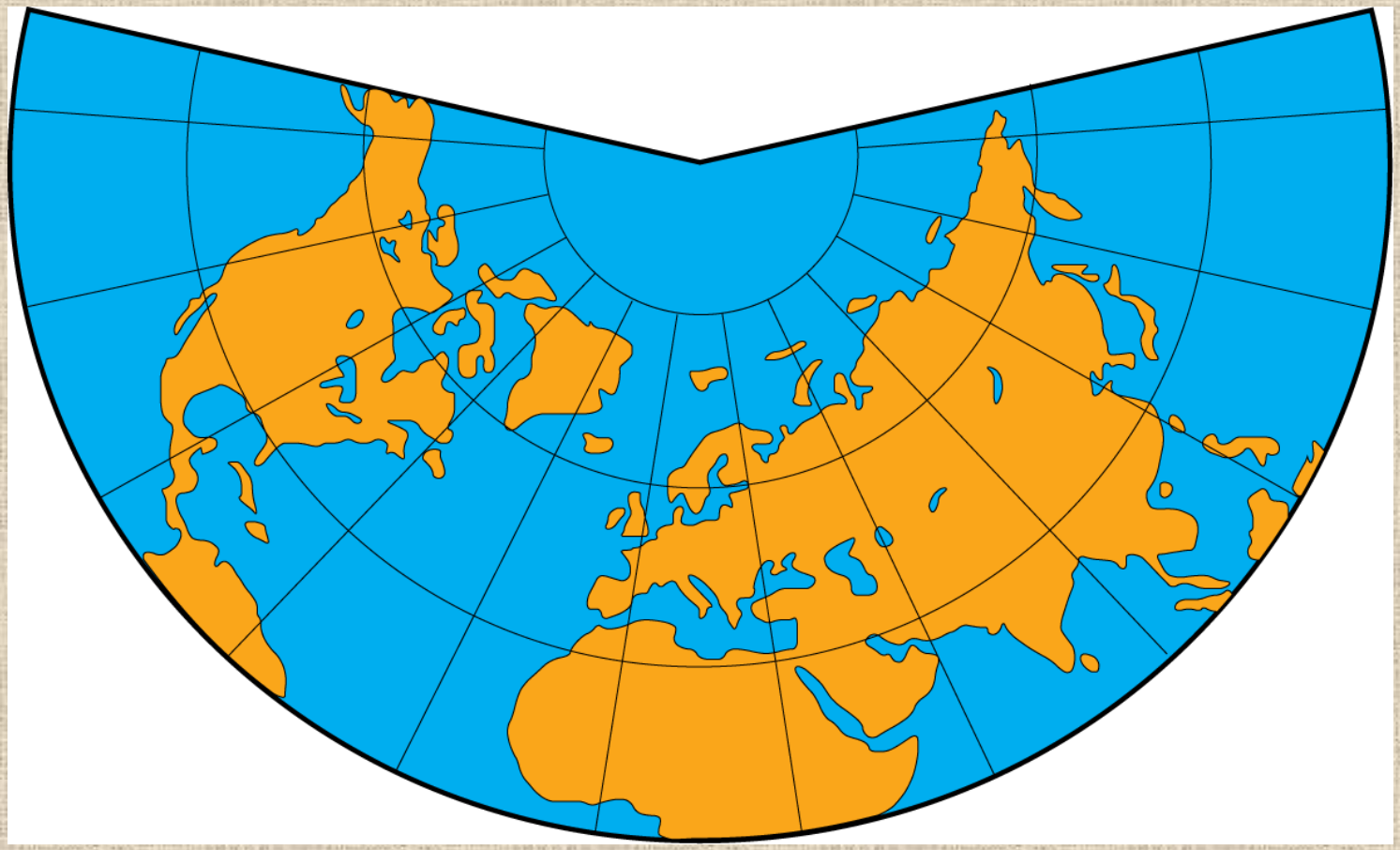
Toliau esančiuose iliustracijose pateikti kūginių projekcijų pavyzdžiai su skirtingais dydžio α parametrais. Dydžiui α artėjant link 1 kūginė projekcija tampa panašesne azimutinei projekcijai. Jeigu dydis α yra artimas 1, tai kūginė projekcija tampa azimutine. . Kita vertus, jeigu dydis α artėja link 0, paralelių išgaubtumas (kreivumas) mažėja, paralelės tampa tiesesnėmis, o pati kartografinė projekcija tampa panašesne į cilindrinę. Kai dydis α = 0, kūginė projekcija virsta cilindrine. Iš to seka, kad azimutinės ir cilindrinės projekcijos yra ribiniai kūginės projekcijos atvejai.

Kiekvienoje kūginėje projekcijoje formuojamos viena ar dvi pagrindinės paralelės, kuriose yra pagrindinis žemėlapio mastelis ir kur nėra jokių iškraipymų. Dydžio α reikšmės priklauso nuo pagrindinių paralelių geografinės platumos. Kuo jų geografinė platuma artimesnė ekvatoriui, tuo ji artimesnė 0. Kita vertus, kuo pagrindinės paralelės artimesnė poliams, tuo parametras α yra artimesnis 1.

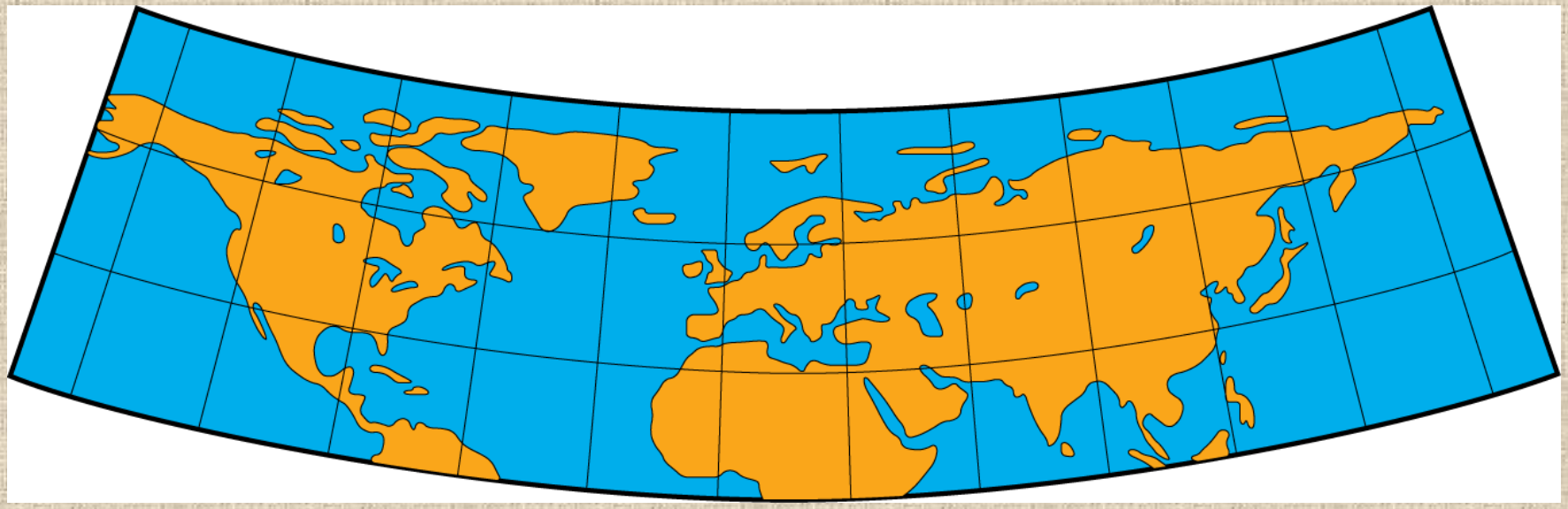
Sudarant žemėlapius naudojamos lygiaplotės, lygiakampės ir lygiatarpės kūginės projekcijos. Pirmąją lygiatarpę kūginę projekciją pasiūlė Klaudijas Ptolemajas. XVI amžiuje jas tobulino Gerardas Merkatorius. XVIII amžiuje kūgines projekcijas nagrinėjo ir tobulino Heinrikas Albersas ir Johanas Lambertas (lygiaplotės), Karlas Gausas ir Johanas Lambertas (lygiakampės), Leonardas Eileris (lygiatarpės).

Į atskirą grupė išskiriamos kūginės meridianinės projekcijos. Jos konstruojamos tempiant ar spaudžiant erdvę ilgumos kryptimi. Skirtingose geografinėse ilgumose tarpai tarp meridianų gali didėti ar mažėti. Tokiu būdu transformuojama forma ilgumos kryptimi.

Laisvoji normali kūginė projekcija (α = 0,8).



Laisvoji normali kūginė projekcija (α = 0,6).



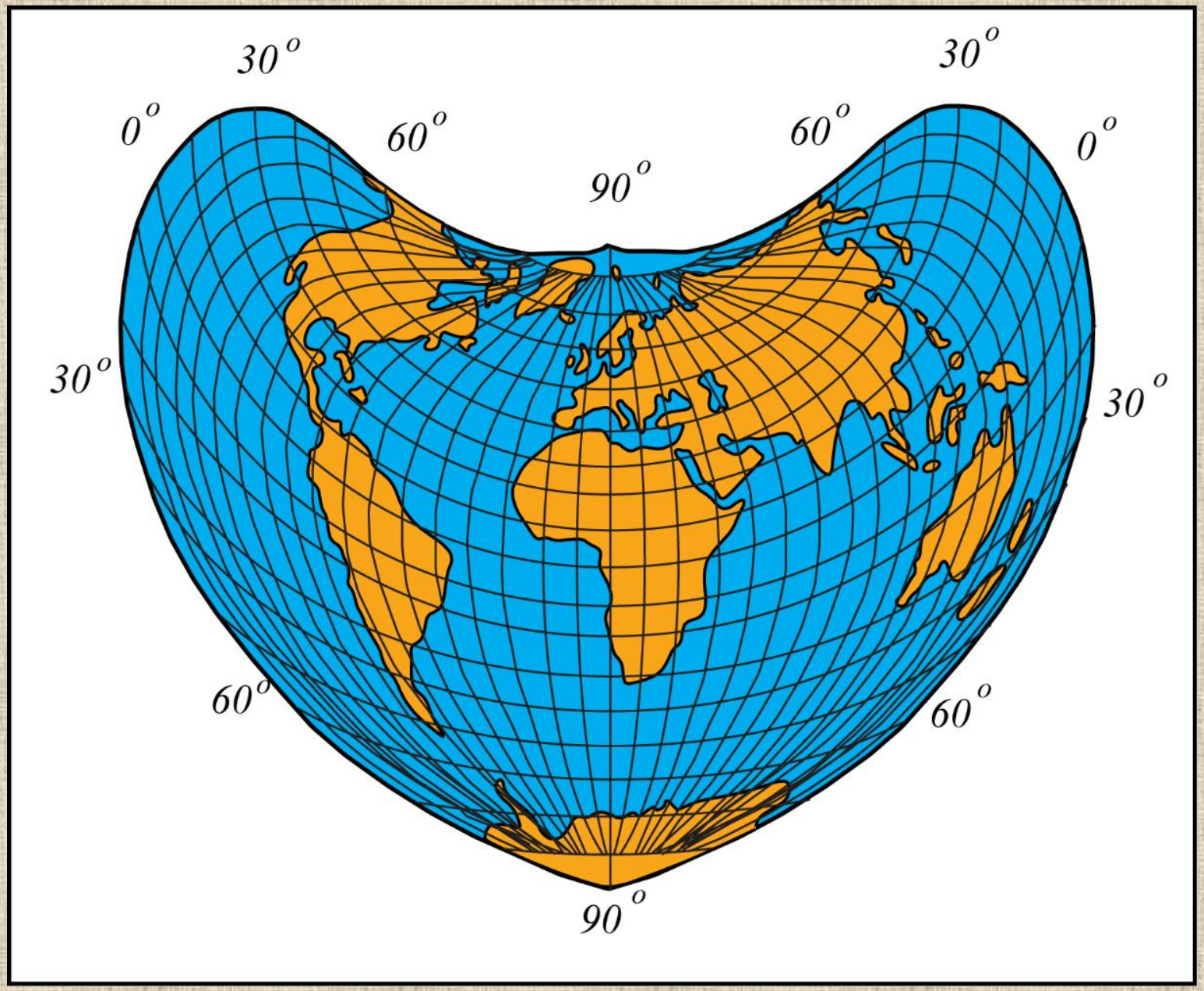
Laisvoji normali kūginė projekcija (α = 0,1).

Pseudokonusinės (pseudokūginės) projekcijos. **Pirmasis pseudokonusines projekcijas dar IV amžiuje prieš mūsų erą sukūrė Aristotelis. Jas naudojo ir Klaudijas Ptolemajas.**

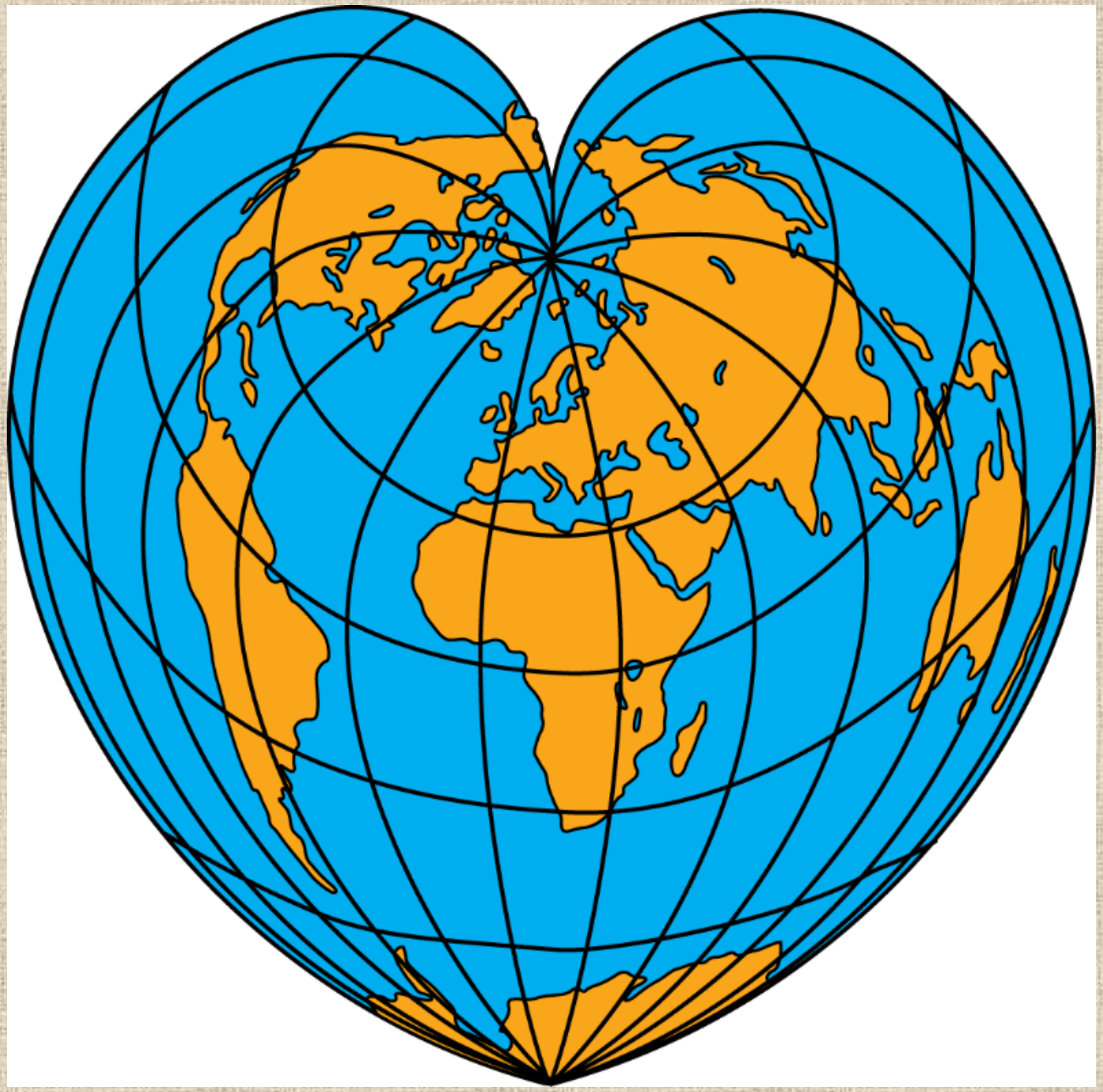
Pseudokonusinės projekcijos – tai projekcijos kuriose normalaus kartografinio tinklo paralelės yra koncentriškų apskritimų lankai, ašinis (vidurinis) meridianas tiesė, kurioje yra koncentriškų apskritimų centrai, o likę meridianai kreivės, dažnai simetriškos vidurinio meridiano atžvilgiu.

1752 metais prancūzų hidrografas Rigobertas Bonas (Rigobert Bonne, 1727 – 1795) panaudojo pseudokūginę projekciją Prancūzijos teritojai kartografuoti. XIX amžiaus pradžioje šioje projekcijoje buvo sudaromi Pramcūzijos topografiniai žemėlapiai. XIX amžiaus atlasuose Bone projekcija naudota kartografuojant Europos, Azijos ir Šiaurės Amerikos žemynus. XX amžiaus pabaigoje šioje projekcijoje sudarytas pasaulio geomorfologinis žemėlapis.

Lygiaplotė Bone projekcija. **Pagrindinis mastelis šioje projekcijoje yra ties viduriniu meridianu ir ties visomis paralelėmis. Šioje projekcijoje paralelės stačiu kampu kerta tik vidurinį meridianą. Be to, šioje projekcijoje yra viena paralelė, kuri kerta meridianus stačiu kampu. Ji vadinama pagrindine Bone projekcijos paralele. Tai 30º platumos paralelė. Nuo to, kokia platumos paralelė pasirenkama pagrindine, tai yra kertančia meridianus stačiu kampu, priklauso ir kartografinio tinklo galutinis vaizdas. Skirtumai matomi palyginus toliau esančias iliustracijas. Vienoje jų – Bone projekcija su 30º pagrindine paralele, kitoje – Stabo ir Vernerio projekcija, kur pagrindinė paralelė yra 90º.**



Pseudokūginė lygiaplotė Bone projekcija. Pagrindinė paralelė – 30 laipsnių šiaurės platumos.



Pseudocilindrinė Štabo – Vernerio projekcija. Dalinis Bono projekcijos atvejis.

Pagrindinei paralelei leidžiantis link ekvatoriaus, mažėja likusių paralelių kreivumas ir jos tampa artimos tiesėms. Tą gerai iliustruoja Bone pseudokūginė projekcija, kur pagrindinė paralelė vedama 2º30′ šiaurės platumos. Kuomet paralelės taps tiesėmis, tokia projekcija jau priklausys cilindrinių projekcijų grupei – konkrečiai pseudocilindrinėms. Galima teigti, kad pseudokūginių projekcijų poklasis apima visus kūginių projekcijų atvejus. Šio poklasio ribinės projekcijos būtų pseudoazimutinė (jungtis su azimutinių projekcijų klase) ir pseudocilindrinė (jungtis su cilindrinių projekcijų klase).

Savo forma Bone projekcija primena širdį, todėl dažnai šios kartografinės projekcijos kontūrai yra naudojami įvairioms emblemoms.

Polikūginės projekcijos. **Poligūginės projekcijos apima kūginių projekcijų poklasį, kur paralelių kreivumas yra pastovus. Ši sąlyga įgalima mažiau iškraipyti formas, kas lėmė, kad polikūginės projekcijos plačiai naudojamos pasaulio bei žemynų žemėlapiams sudaryti.**

Polikūginės projekcijos – tai projekcijos kuriose normalaus kartografinio tinklo paralelės yra koncentriškų apskritimų lankai, ašinis (vidurinis) meridianas tiesė, kurioje yra koncentriškų apskritimų centrai, o likę meridianai kreivės, dažnai simetriškos vidurinio meridiano atžvilgiu.

Remiantis iškraipymų pobūdžiu polikūginės projekcijos skiriamos į:

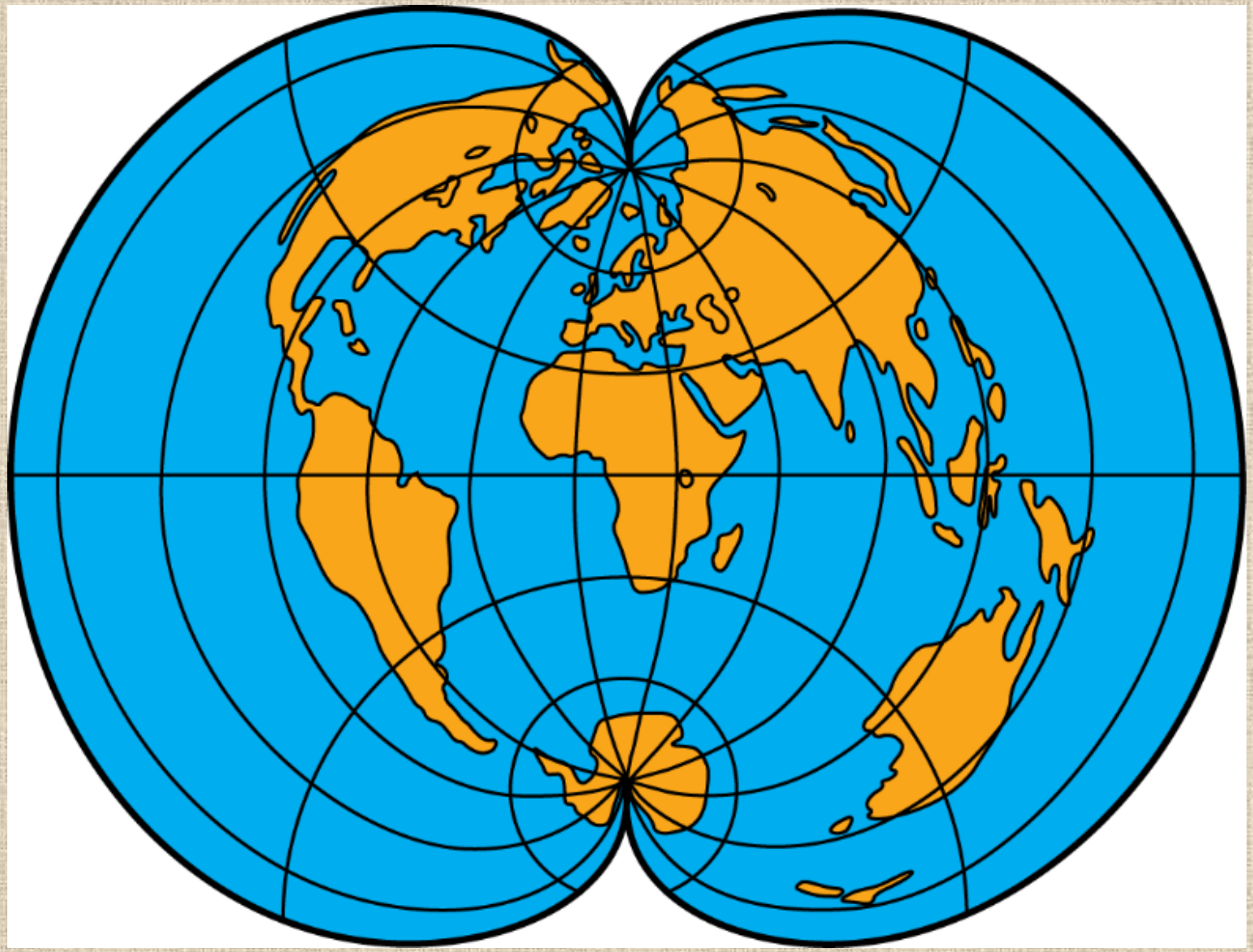
1. Lygiaplotes.
2. Lygiakampes.
3. Laisvąsias.

Plačiausiai taikomos lygiakampės ir laisvosios polikūginės projekcijos. Viena jų – Ferdinando Rudolfo Haslerio (1770-1843) 1825 metais sukurta *paprastoji polikūginė projekcija*. JAV ši projekcija iki 1950 metų buvo naudojama topografiniams žemėlapiams sudaryti. Šios projekcijos esmė ta, kad žemėlapis „sudedamas“ iš atskirų plotų, apribotų konkrečiai geografine platuma ir ilguma. Šiuose plotuose kiekviena paralelė tampa pagrindine. Tai reiškia, kad paprastoje polikūginėje projekcijoje nėra ilgių iškraipymo paralelių kryptimi. Ilgiai taip pat neiškraipomi ties tiesiu viduriniu meridianu, ant kurio ir yra paralelių koncentriškų apskritimų lankų centrai. Esminiu projekcijos trūkumu yra paralelių kreivumas, ypač poliarinėse platumose bei plotų ir kampų iškraipymas periferinėse žemėlapio dalyse, tai yra tolstant nuo vidurinio meridiano. Šie trūkumai apriboja projekcijos naudojimą visam Žemės paviršiui kartografuoti, tačiau gerai tiko daugialapiam pasaulio žemėlapiui sudaryti (M 1:1 000 000).

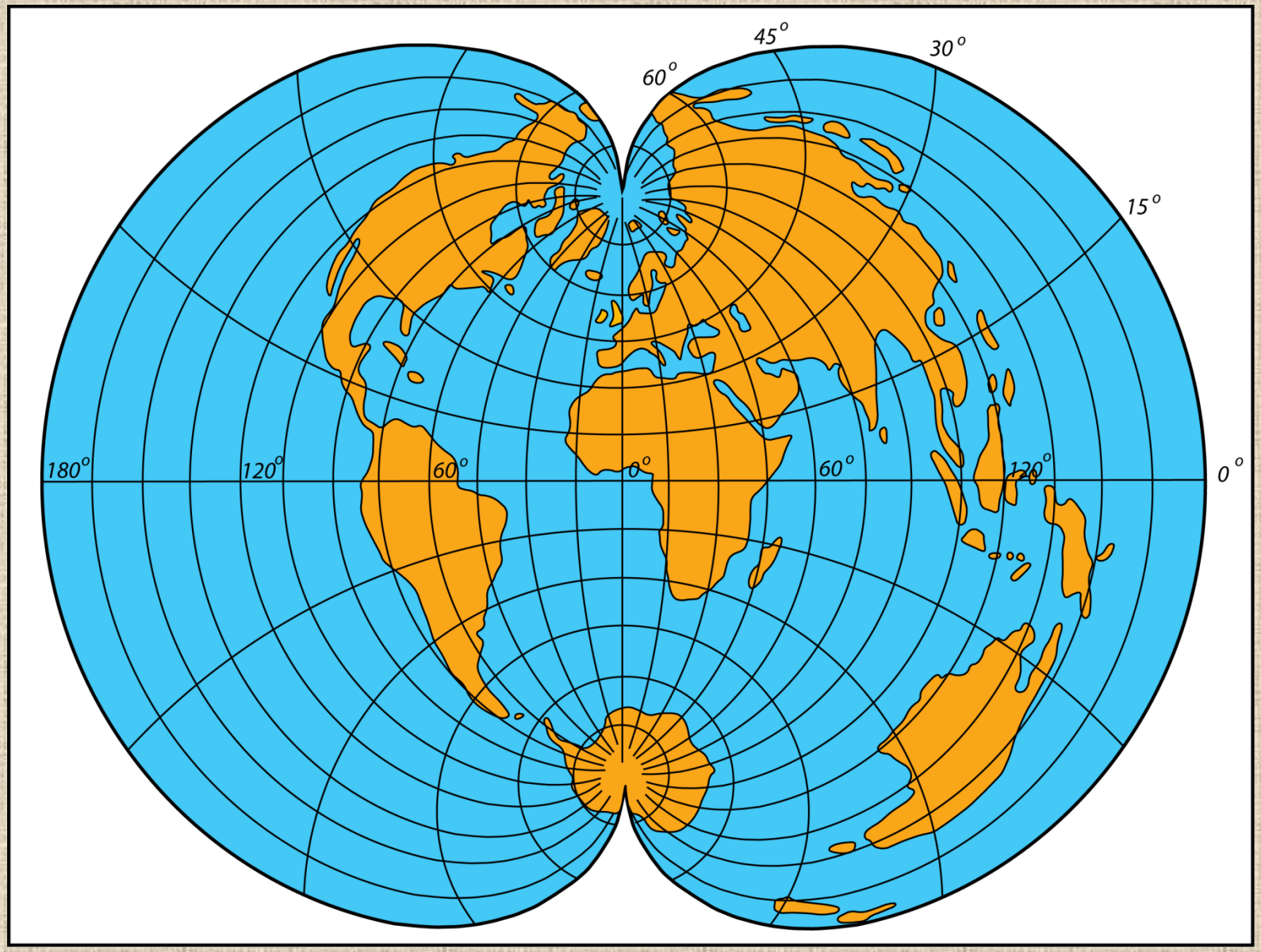
Vienas iš polikūginės projekcijos variantų 1954 metais sukurta *Centriniame geodezijos, aeronuotraukos ir kartografijos mokslo tyrimo institute* (TSRS). Šioje projekcijoje mažiau iškraipomos periferinės žemėlapio dalys, tačiau didelis jos trūkumas, kad poliai virsta kreivėmis.

Viena iš polikūginių projekcijų grupių – *apvaliosios projekcijos*, kur paralelės ir meridianai yra apskritimų lankai, o ekvatorius ir vidurinis meridianas – statmenai besikertančios tiesės. Viena iš tokių projekcijų yra Lamberto – Lagranžo projekcija. Ją 1772 metais sukurė vokiečių matematikas ir kartografas Johanas Heinrichas Lambertas (1728 – 1777), o 1779 metais prancūzų matematikas Lui Lagranžas (1736 – 1813) išsprendė bendrąją polikūginių apvaliųjų projekcijų lygtį.

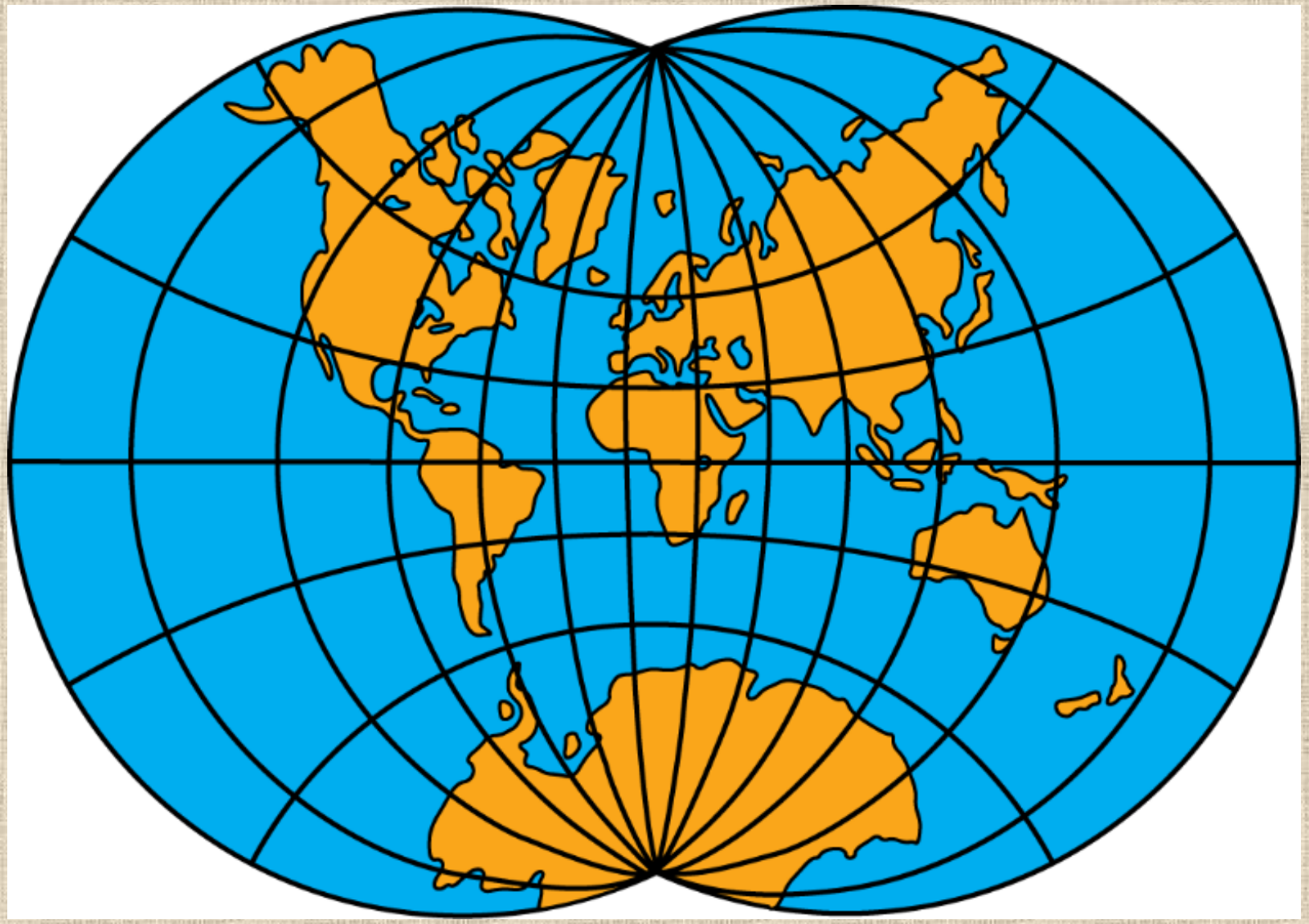
Polikūginės projekcijos su kintančiu paralelių kreivumu. Šiose projekcijose paralelės yra elipsių formos arba kitokiomis kreivėmis. Meridianai yra tiesės arba kreivės. Šios projekcijos taikomos šalims, vandenynams ar visam pasauliniam vandenynui kartografuoti.



Paprastoji polikūginė projekcija



Daugiakūgė projekcija.



Plikonusinė lygiakampė apskritiminė Legranžo projekcija

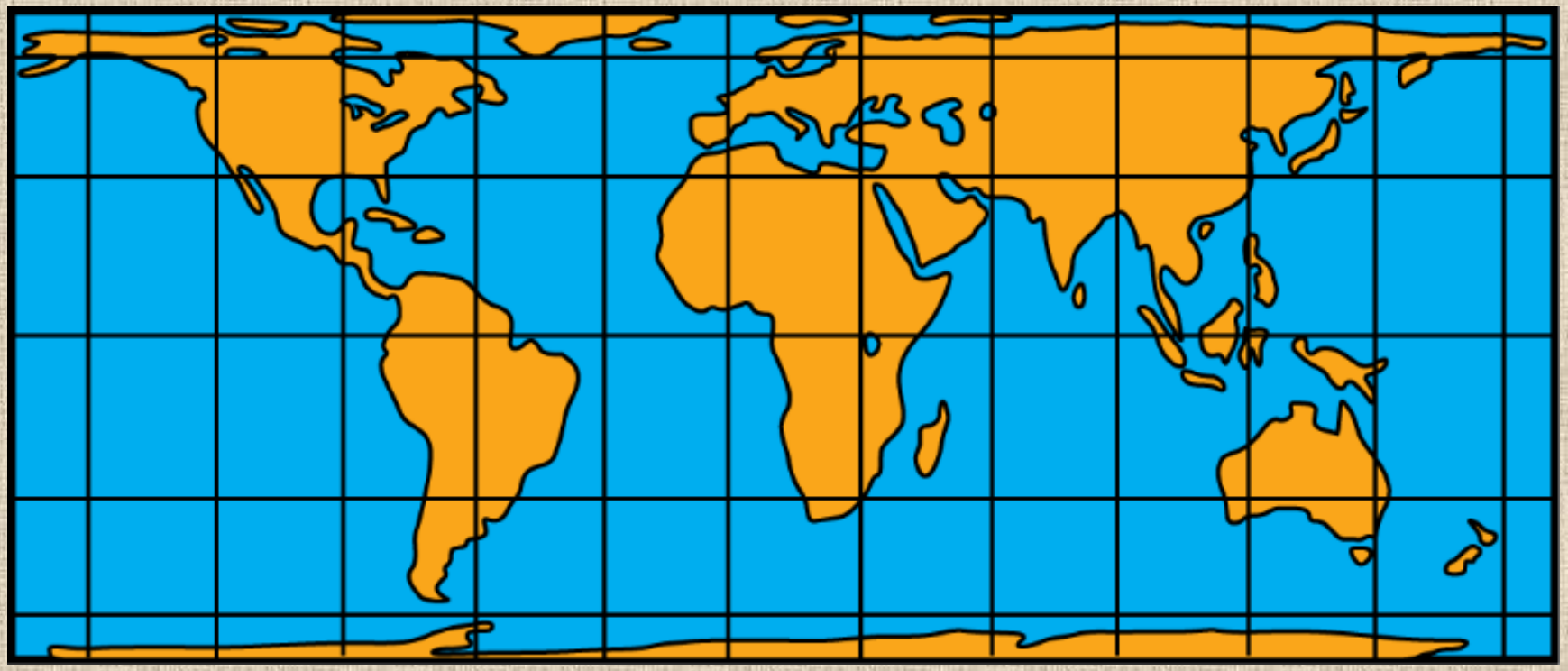
Cilindrinių projekcijų grupė

Skiriamasis šių projekcijų bruožas yra tas, visose pirmojo poklasio klasėse paralelės yra tiesės. Jas galima traktuoti kaip apskritimų, kurių centrai yra begalybėje, atvejus.

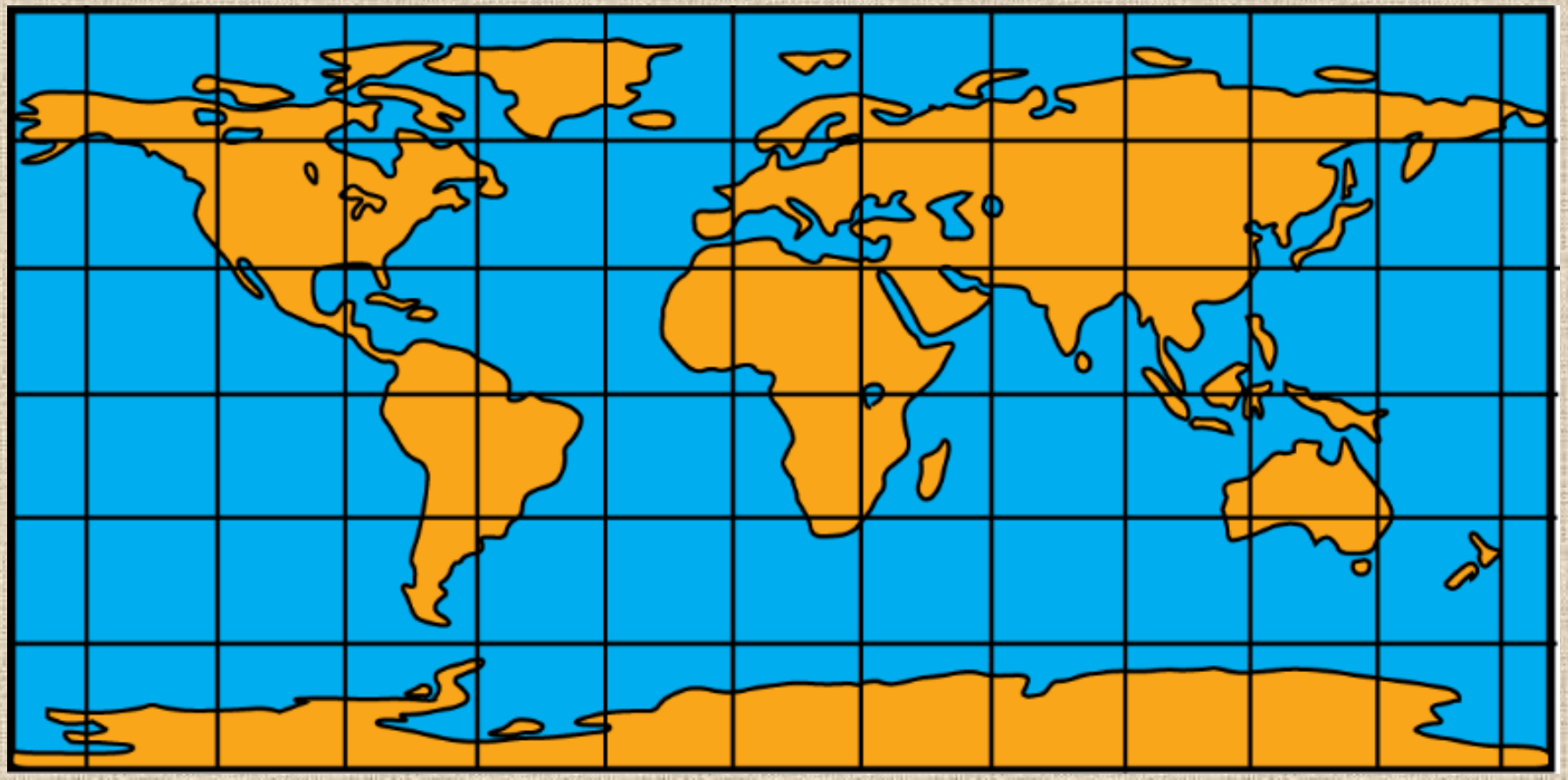
Cilindrinės projekcijos. **Pavadinimas kilęs nuo to, kad tarpiniu kūnu naudojamas cilindras (ritinys). Šių projekcijų kartografinis tinklas pasižymi paprastumu – tai statmenai besikertančios paralelių ir meridianų tiesės. Cilindrinės projekcijos gali turėti vieną ar dvi pagrindines paraleles – almukantaratus – kur nėra iškraipymų.**

Cilindrinės projekcijos – tai projekcijos kuriose normalaus kartografinio tinklo paralelės yra tiesės, o meridianai – joms statmenos tiesės, simetriškai nutolę nuo viduriniojo (ašinio) meridiano ir proporcingai atitinkančio geografinę ilgumą.

Cilindrinė projekcijos skirstomos į grupes pagal iškraipymų pobūdį bei cilindro ašies ir gaublio polinės ašies santykį. Klasikinės cilindrinės projekcijos kurtos jau antikos laikais. Eratostenas pirmasis sukūrė cilindrinę projekciją, kurioje meridianai buvo brėžiami vienodu atstumu vienas nuo kito. Portugalijos karalius Henrikas Jūreivis 1438 metais sukūrė lygiatarpę cilindrinę projekciją. 1569 metais Gerardas Merkatorius, panaudodamas cilindrinę projekciją, sukūrė daugialapį pasaulio žemėlapį. Šiame žemėlapyje loksodromos (pastovaus azimuto linijos) buvos tiesės, kas labai tiko navigaciniams skaičiavimams. Nuo to laiko normali lygiakampė cilindrinė projekcija vadinama Merkatoriaus projekcija. 1772 metais Johanas Heinrichas Lambertas sukūrė lygiaplotę cilindrinę projekciją.



Normali lygiaplotė cilindrinė projekcija



Normali lygiatarpė cilindrinė projekcija

Visoms cilindrinėms projekcijoms būdinga savybė yra ta, kad meridianų tiesės susiejamos geografine ilguma, o tarpai tarp jų gali būti pastovūs arba kintami: didėti ar mažėti. Tas būdinga visam cilindrinių projekcijų poklasiui.

Pseudocilindinės projekcijos. **Tai plati projekcijų poklasė, kuriai būdingas lygiagretus horizontalus paralelių tinklas, o meridianai – apskritimų lankai, simetriški vidurinio meridiano atžvilgiu. Pseudocilindrinės projekcijos kuriamas norint pašalinti pagrindinį normalių cilindrinių projekcijų trūkumą – jose sudarytuose žemėlapiuose stipriai ištempiamos poliarinės sritys: poliai virsta linijomis. Tai reiškia, kad labai iškraipomos formos ir atstumai. Pseudocilindrinėse projekcijose ašigaliai gali tapti taškais ar santykinai trumpomis linijomis.**

Pseudocilindrinės projekcijos – tai projekcijos kuriose normalaus kartografinio tinklo paralelės yra tiesės, vidurinis meridianas tiesė, statmena paralelėms, o likę meridianai – laužtinės arba kreivės, simetriškai nutolę nuo viduriniojo (ašinio) meridiano.

Pseudocilindrinėse projekcijose meridianų tinklas nėra statmenas. Tai lemia, kad pseudocilindrinės projekcijos gali būti lygiaplotės arba laisvosios. Lygiakampių pseudocilindrinių projekcijų sukurti neįmanoma.

Dėl to, kad kartografinis tinklas yra neortogonalus, pagrindinio mastelio kryptys nesutampa su paralelių ir meridianų kryptimis. Išimtimi yra tik vidurinis meridianas, kuris statmenai kertasi su ekvatoriumi ir paralelėmis.

Pseudocilindrinėse projekcijose meridianai gali turėti laužtinių, elipsių, parabolių, hiperbolių ar sinusoidžių formas.

Pseudocilindrinėse projekcijose yra dvi simetrijos linijos: ekvatorius ir vidurinis meridianas.

Tarpai tarp meridianų pseudocilindrinėse projekcijose yra proporcingi geografinei ilgumai. Laisvosiose pseudocilindrinėse projekcijose tarpai tarp meridianų tolstant nuo vidurinio meridiano dažniausiai trumpėja. Didėjantys tarpai tarp meridianų taikomi labai retai.

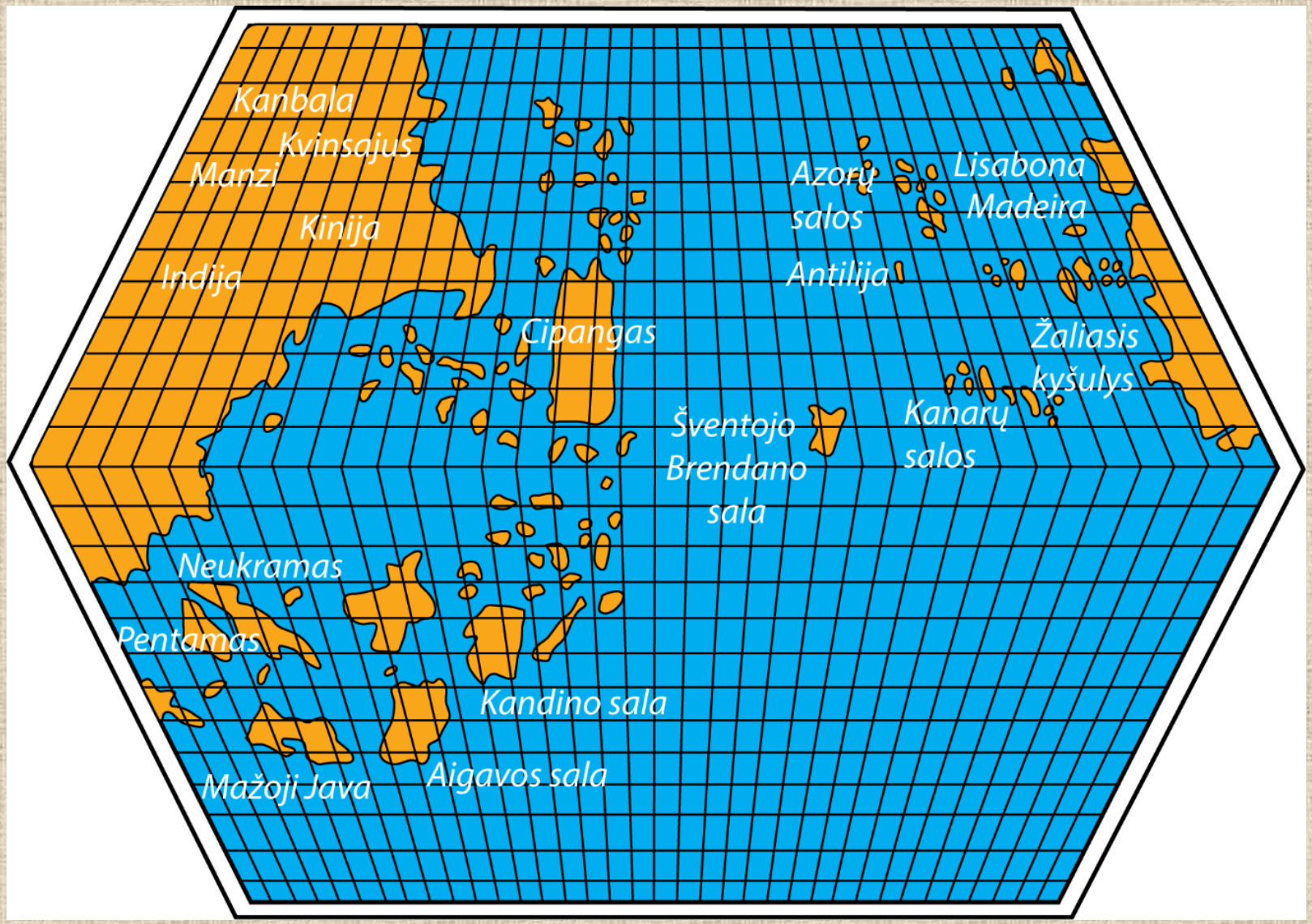
Tarpai tarp paralelių priklauso nuo sferinio paviršiaus projektavimo plokštumoje pasirinkimo būdų: dažniausiai jie yra pastovūs.

Pseudocilindrinės projekcijos taikomos smulkaus mastelių globaliniams žemėlapiams sudaryti. Į plokštumą projektuojamas ne elipsoido, o rutulio paviršius. Apžvalginiams žemėlapiams didesni iškraipymo laipsnis neturi reikšmės.

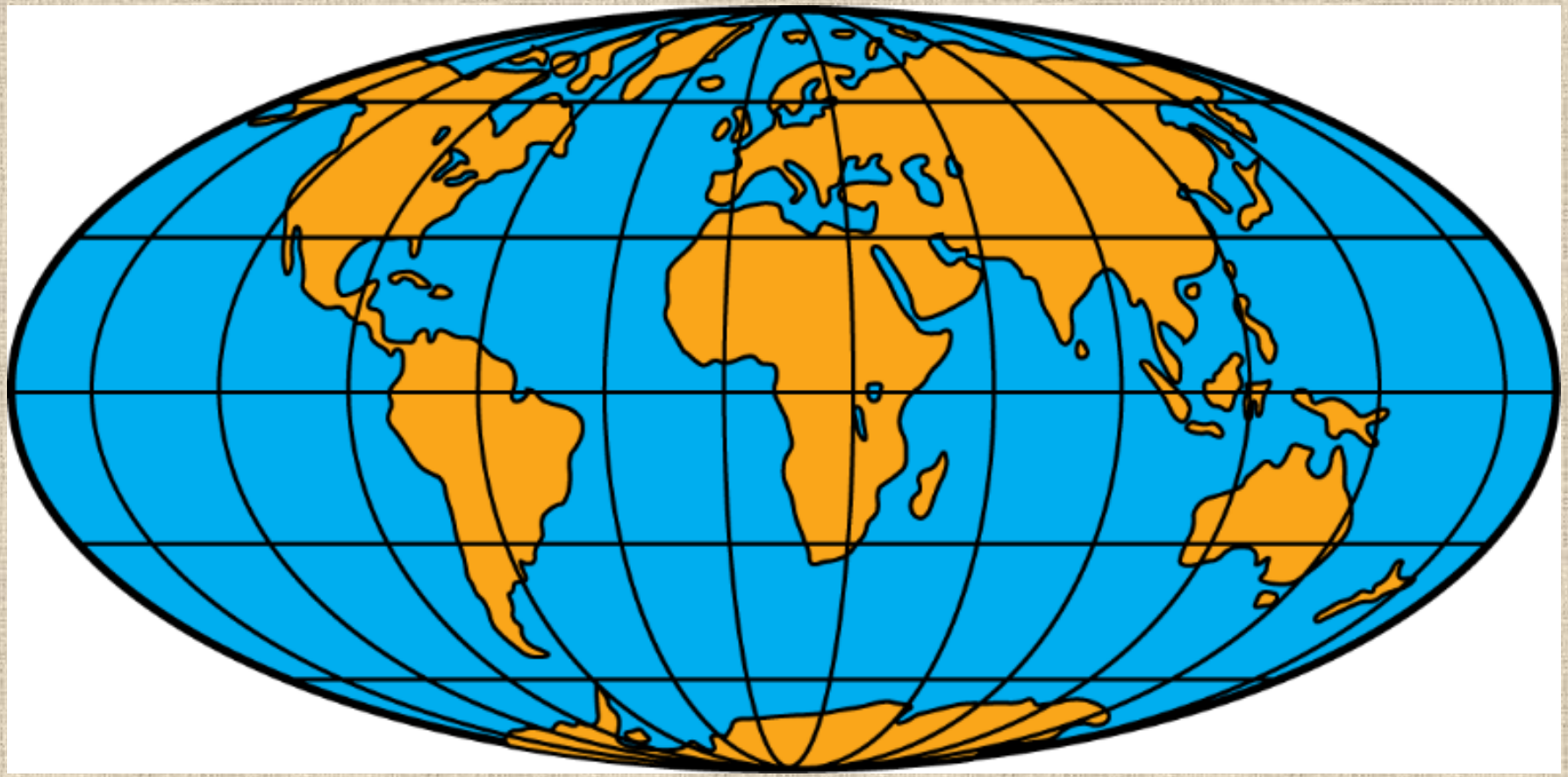
Vieną pirmųjų pseudocilindrinių projekcijų 1474 metais yra sukūręs italų kartografas Paolas Toskanelis (1397- 1482). Šiame žemėlapyje atstumas nuo Europos iki Azijos vakarų kryptimi sudarė tik trečdalį Žemės apskritimo, kas įkvėpė Kolumbą pasiekti Aziją iš rytų.

Pseudocilindrinės projekcijos, kuriose meridianai yra elipsės formos vadinamos elipsinėmis projekcijomis, sinusoidžių formos – sinusoidinėmis, hiperbolių formos – hiperbolinėmis, parabolių formos – parabolinėmis. Vieną iš elipsinių pseudocilindrinių projekcijų 1805 metais sukūrė vokiečių matematikas ir kartografas Karlas Molveidė (1774 – 1825), kuri yra iki šiol populiari. Molveidės projekcija, kaip ir kitos plačiau naudojamos pseudocilindrinės projekcijos yra normalaus orientavimo. Kai kuriais atvejais plačiai naudojami skersinis ir įstrižas pseudocilindrinės Molveidės projekcijos variantai.

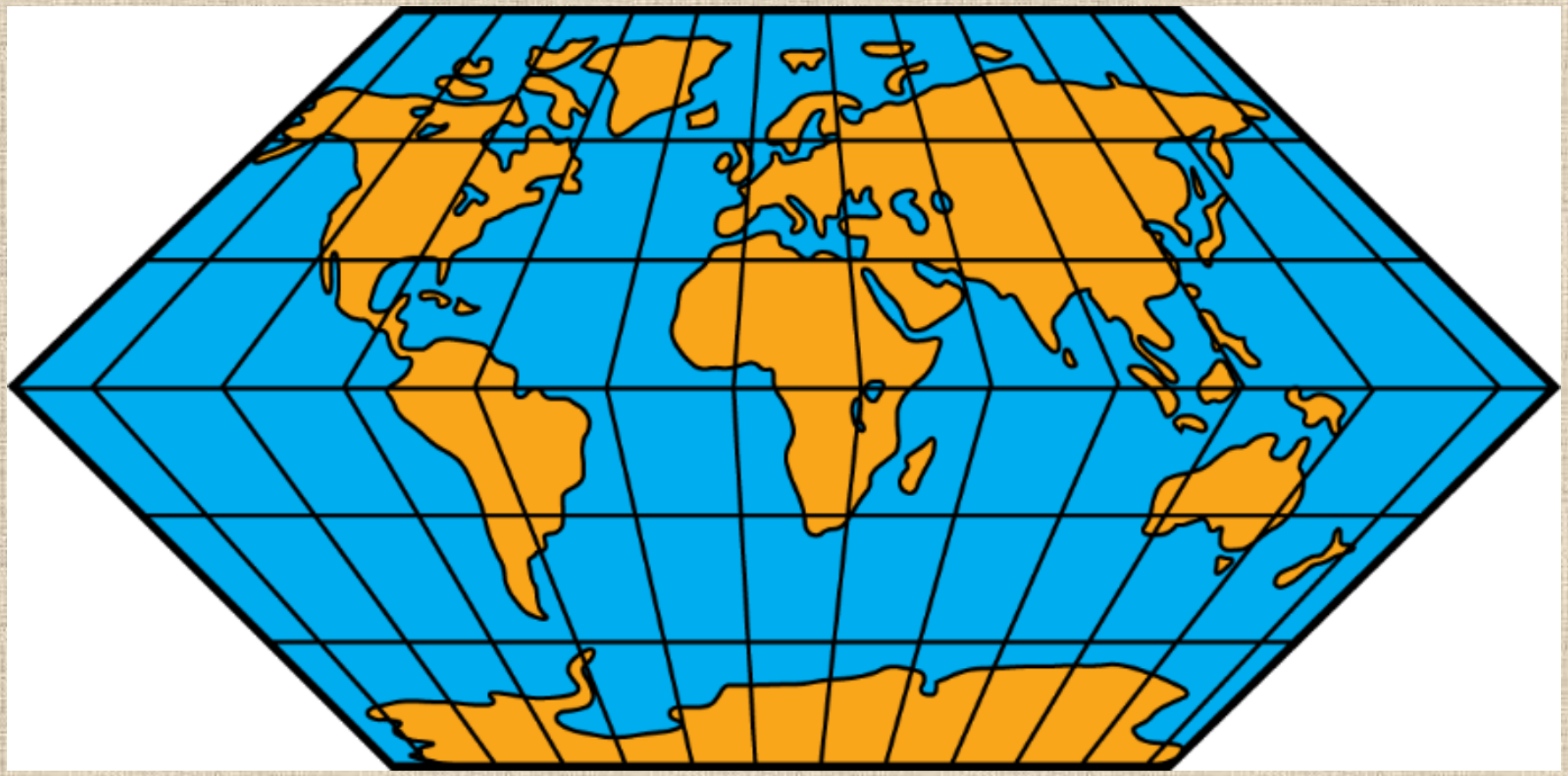
1906 metais vokiečių kartografas Maksas Ekertas (1868 – 1938) sukūrė šešis pseudocilindrinės projekcijos variantus. Dalis jų buvo lygiaplotės, dalis laisvosios projekcijos . Jų vaizdas pateiktas toliau.



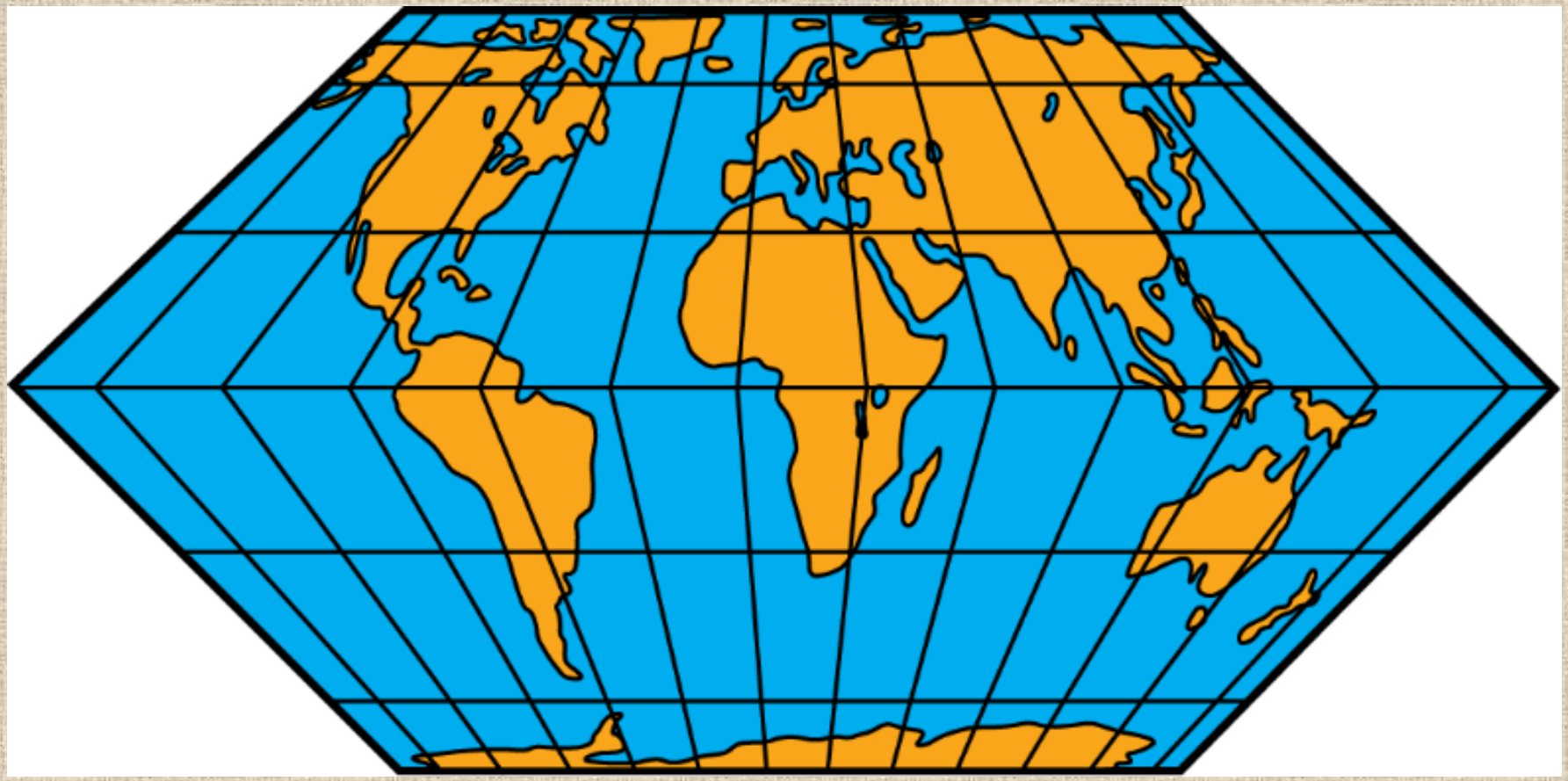
Pseudocilindrinė Toskanelio projekcija



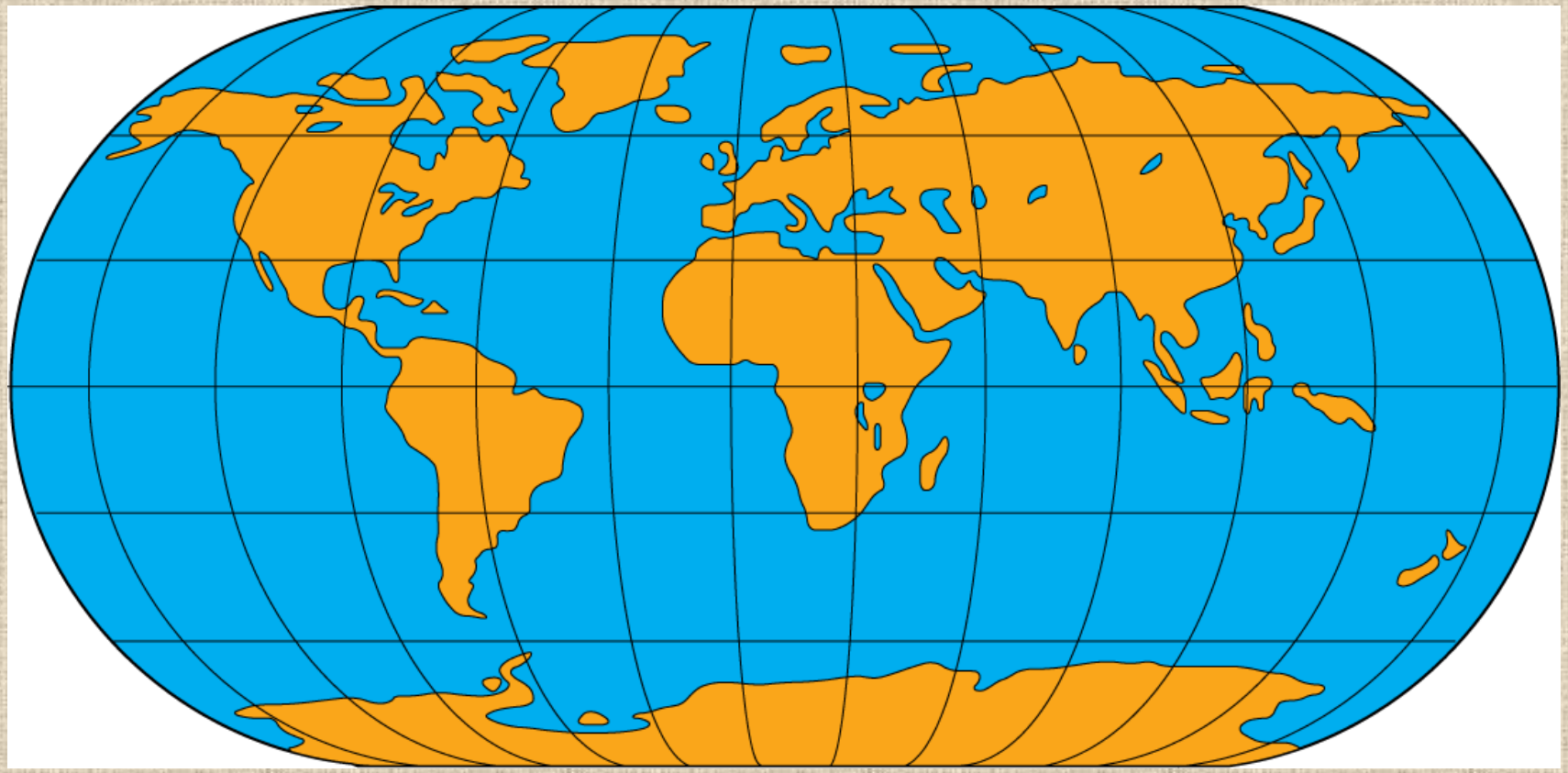
Pseudocilindrinė lygiaplotė elipsinė Molveidės projekcija. Ašigaliai žemėlapyje virtę taškais. Vidurinis meridianas lygus pusei ekvatoriaus ilgio. 90 laipsnių meridianai sudaro apskritimą, kurio plotas lygus Žemės pusrutulio plotui. Likusieji meridianai brėžti vienodais tarpais ir yra elipsių lankai. Pagrindinis mastelis yra 40°44′ platumose.



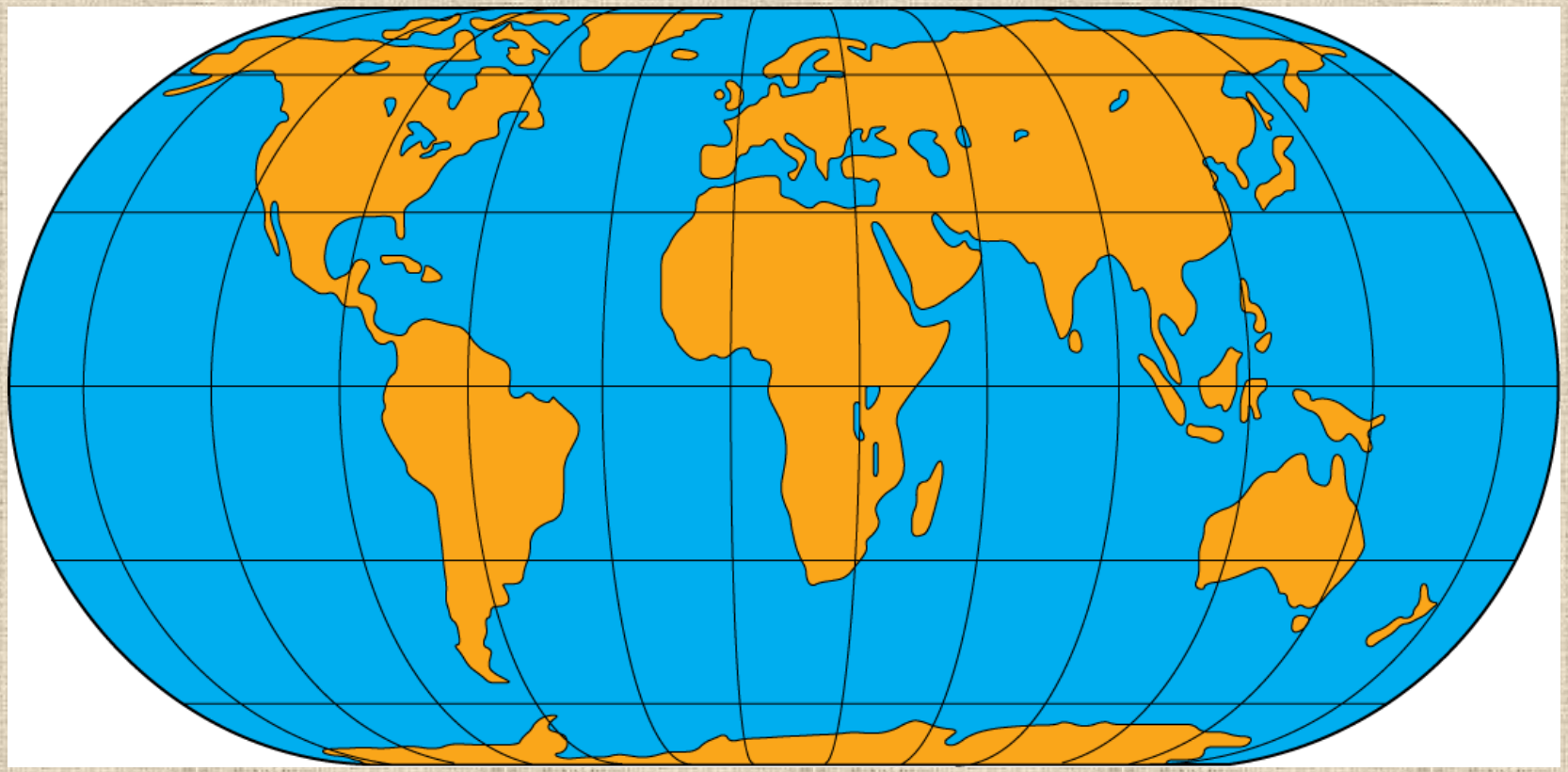
Laisvoji elipsinė pseudocilindrinė Ekerto (I) projekcija. Tarpai tarp meridianų pastovūs. Vidurinio meridiano ilgis (jis čia nepavaizduotas) ir ašigalių linijų ilgiai vienodi ir lygus pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 47°10 ′ platumose.



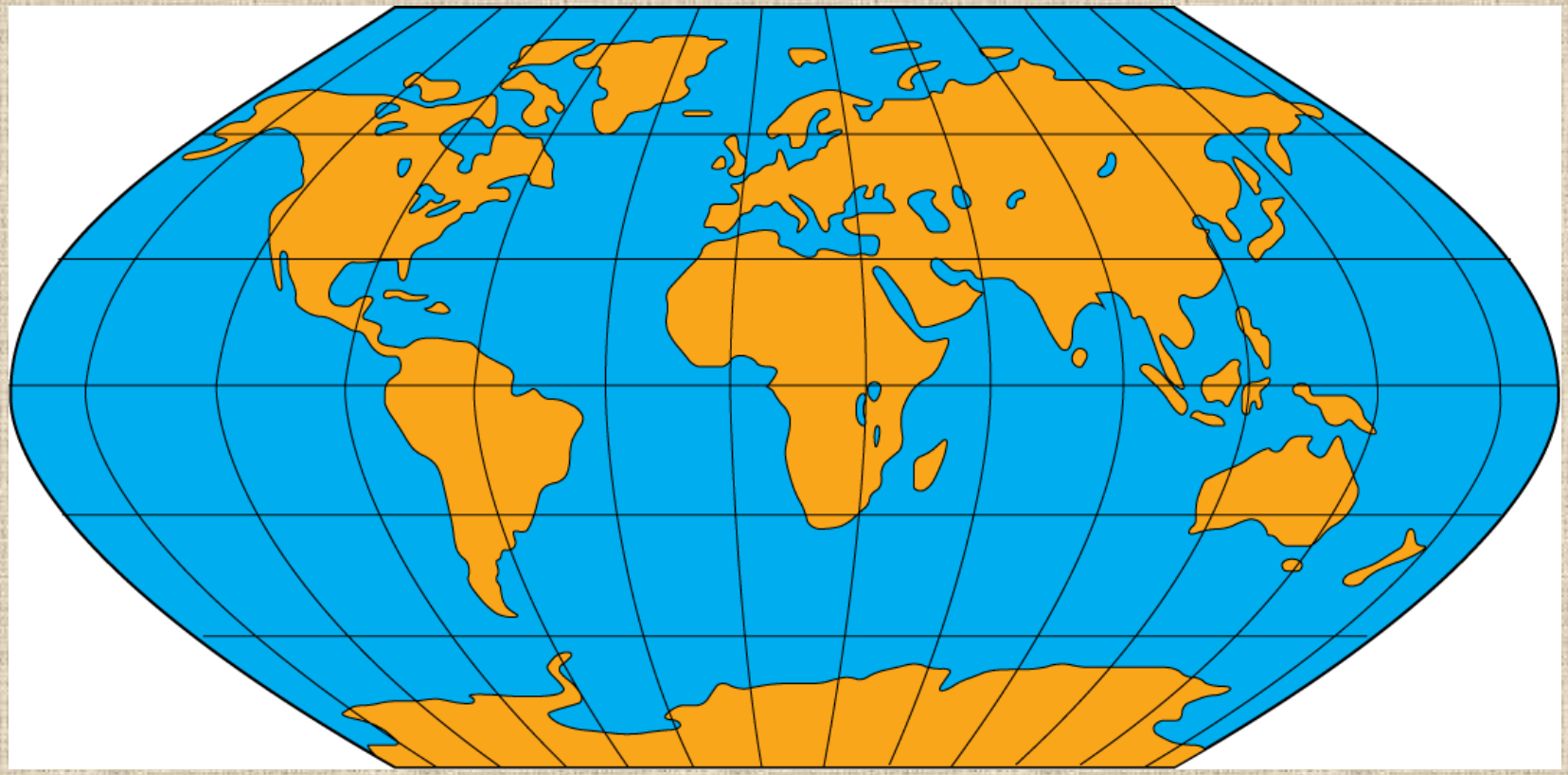
Pseudocilindrinė lygiaplotė Ekerto (II) projekcija. Tarpai tarp meridianų pastovūs. Vidurinio meridiano ilgis (jis čia nepavaizduotas) ir ašigalių linijų ilgiai vienodi ir lygus pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 55°10′ platumose.



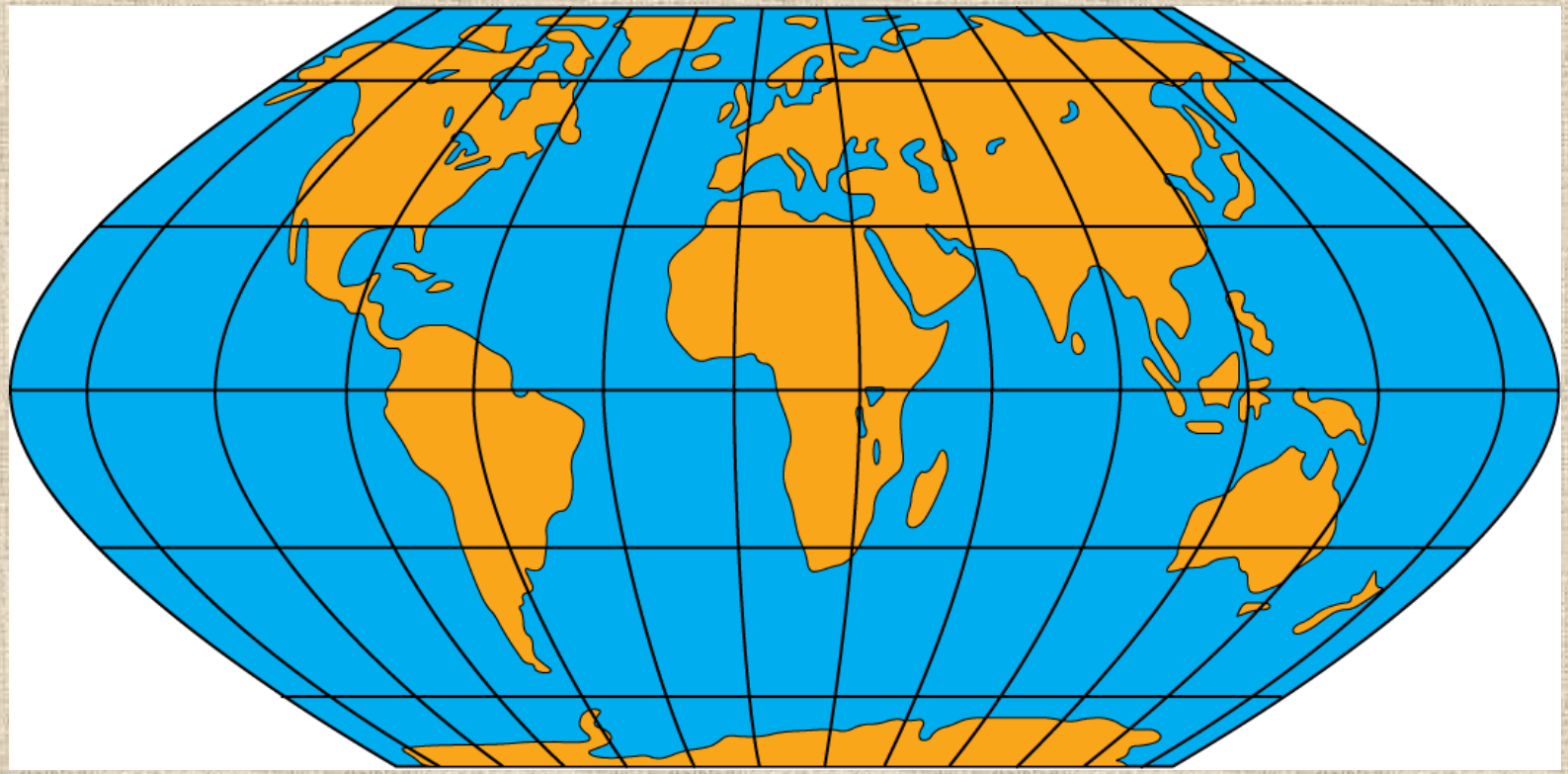
Laisvoji elipsinė pseudocilindrinė Ekerto (III) projekcija. Paralelė ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Kraštiniai meridianai yra apskritimų lankai. Vidurinis meridianas ir polių linijos lygios pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 35°58′ platumose.



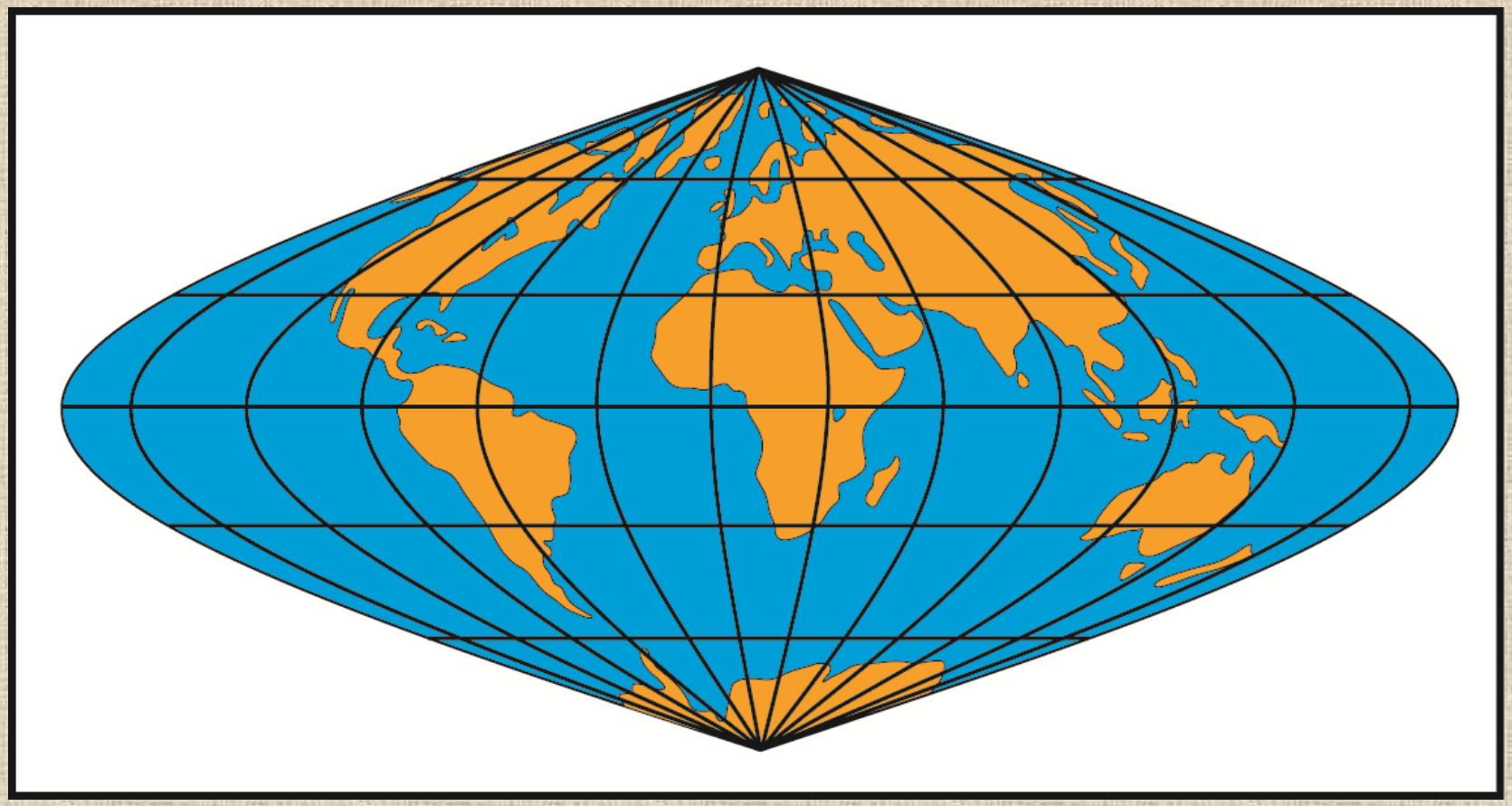
Laisvoji elipsinė pseudocilindrinė lygiaplotė Ekerto (IV) projekcija. Paralelė ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Kraštiniai meridianai yra apskritimų lankai. Vidurinis meridianas ir polių linijos lygios pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 40°30′ platumose.



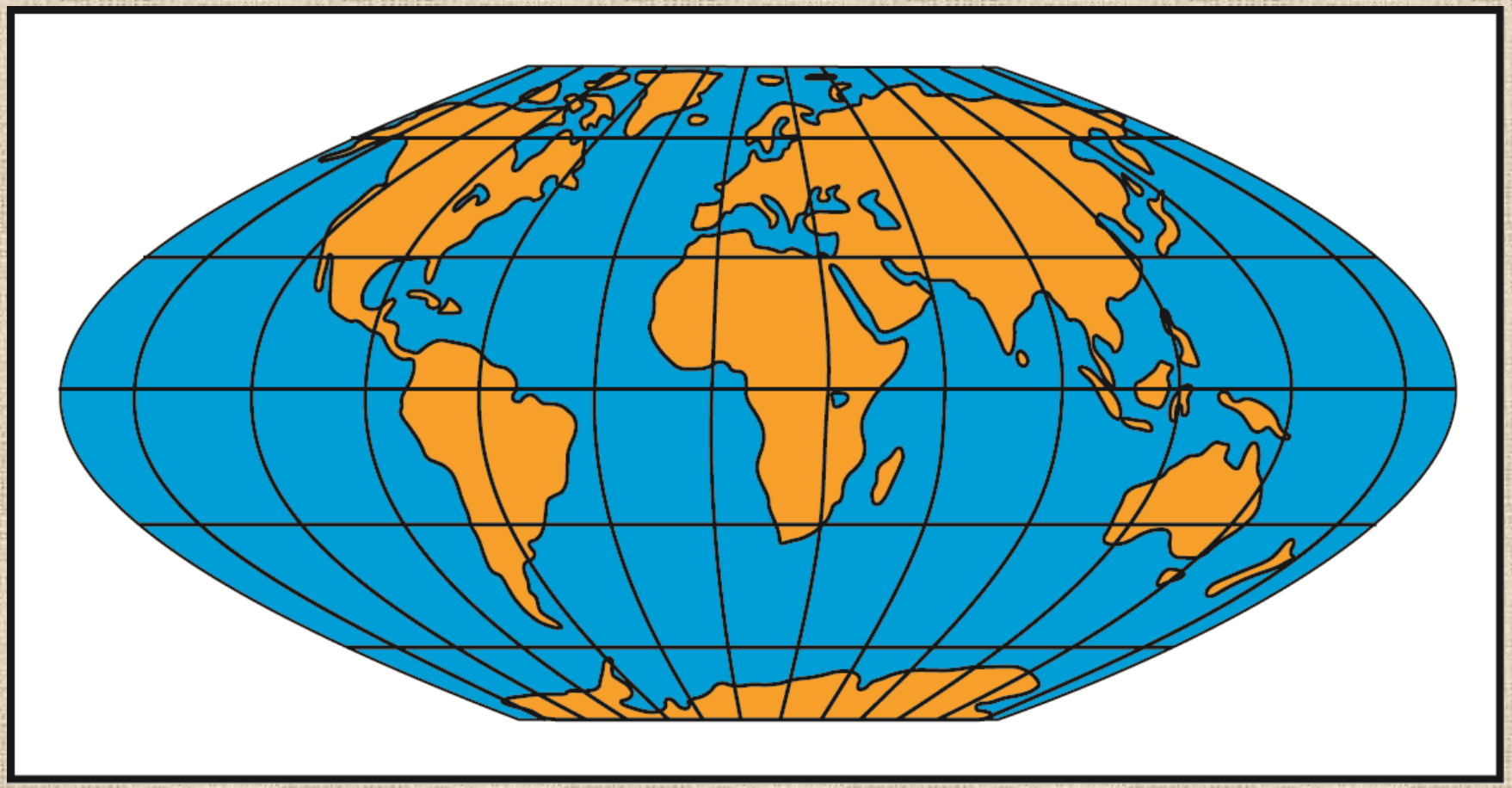
Laisvoji sinusoidinė pseudocilindrinė Ekerto (V) projekcija. Paralelė ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Vidurinis meridianas ir polių linijos lygios pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 37°55′ platumose.



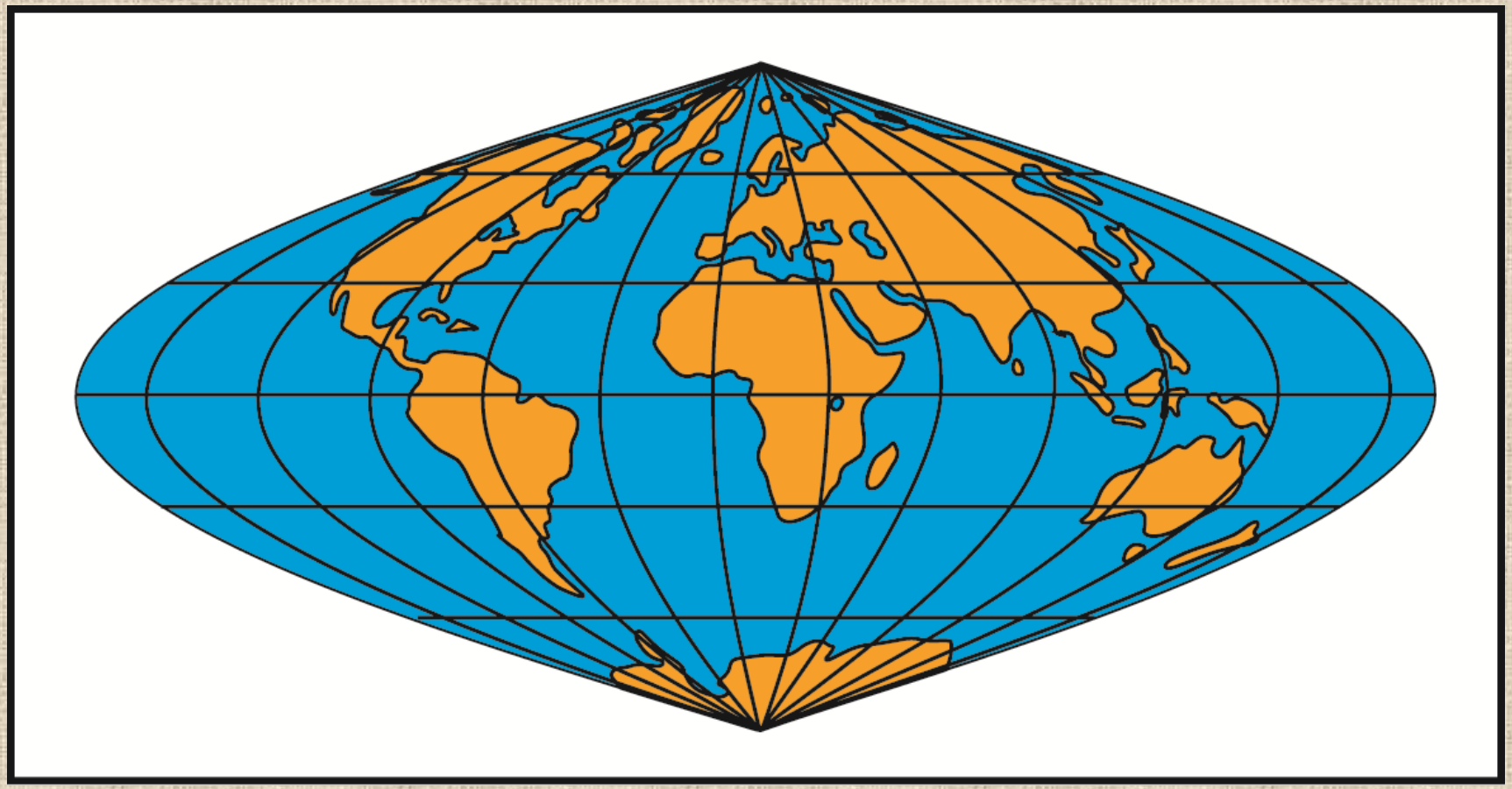
Laisvoji sinusoidinė pseudocilindrinė lygiaplotė Ekerto (VI) projekcija. Paralelė ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Vidurinis meridianas ir polių linijos lygios pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 49°16 ′ platumose.



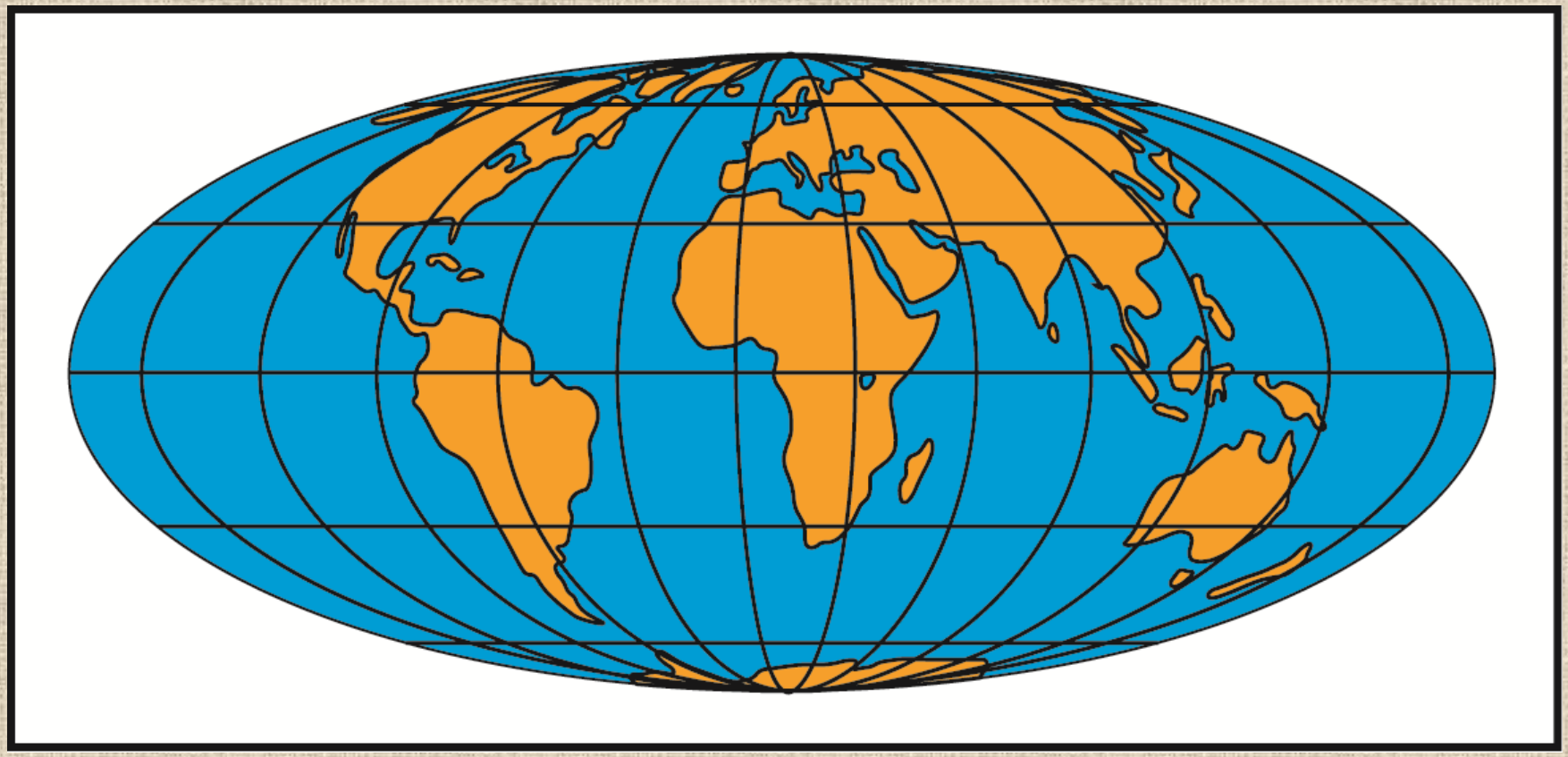
Laisvoji pseudocilindrinė hiperbolinė Putninšo projekcija. Meridianai – hiperbolių lankai. Paralelės ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Vidurinis meridianas lygus pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 21°14′ platumose.



Pseudocilindrinė lygiaplotė parabolinė Makbradės ir Tomaso projekcija. Meridianai – parabolių lankai. Paralelės ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Vidurinis meridianas lygus 0,48 ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra 45°30′ platumose.



Pseudocilindrinė lygiaplotė sinusoidinė Sansono projekcija. Meridianai – sinusoidžių lankai. Paralelės ir meridianai brėžti vienodais tarpais. Vidurinis meridianas lygus pusei ekvatoriaus ilgio. Pagrindinis mastelis yra ties visomis paralelėmis ir viduriniu meridianu.



Laisvoji pseudocilindrinė projekcija. Centrinėje dalyje kartu ir lygiatarpė (neiškraipyti atstumai).

Gana populiari pseudosinusinė Nikola Sansono (1600 – 1667), sukurta 1650 metais. Šioje projekcijoje paralelės ir vidurinis meridianas turi pagrindinį mastelį. Tai reiškia, kad šitomis kryptimis neiškraipomi linijų ilgiai. Sansono pseudocilindrinėje projekcijoje buvo sudaromi pasaulio ir atskirų žemynų žemėlapiai. Globaliniams žemėlapiams sudaryti naudojama modifikuota Sansono kartografinė projekcija, kurioje tarpai tarp parelių yra kintami. Tai laisvosios pseudocilindrinės projekcijos atvejis.

Pseudocilindrinės projekcijos – tai bendrasis cilindrinių projekcijų klasės atvejis: visas cilindrines projekcijas galima nagrinėti kaip atskirus pseudocilindrinių projekcijų atvejus. Taip pat pseudocilindrines projekcijas galima nagrinėti kaip atskirą pseudokūginių projekcijų atvejį: kuomet paralelės iš lankų virsta tiesėmis (be galo ilgų spindulių apskritimų dalys). „Ištiesinus“ polikūginių projekcijų paraleles, gaunamos policilindrinės projekcijos. Tai reiškia, kad šių dviejų klasių kartografiniai tinklai nesiskirs. Taip atsitinka todėl, kad pseudocilindrinių ir policilindrinių projekcijų paralelių spindulių centrai yra be galo ilgi. Kita vertus, klasifikuojant kartografines projekcijas pagal jų kartografinio tinklo vaizdą, iškiriamos ir policilindrinės projekcijos.

Policilindrinės projekcijos.

Policilindrinės projekcijos – tai projekcijos kuriose normalaus kartografinio tinklo paralelės yra kintančio kreivumo kreivės, vidurinis meridianas tiesė, statmena paralelėms, o likę meridianai – tiesės arba kreivės, simetriškai nutolę nuo viduriniojo (ašinio) meridiano.

Kartografinių projekcijų klasifikacija, paremta matematinių elementų sandara.

Daugelis žemėlapių turi vieną pagrindinį mastelį, o kartografinių projekcijų lygtyse naudojamas vienas parametrų rinkinys. Kita vertus, yra kuriamos kartografinės projekcijos, kurias aprašančiose lygtyse naudojami keli parametrų rinkiniai. Tokie žemėlapiai gali būti iš kelių dalių, kur panaudotos skirtingos projekcijos, sąmoningai sumažinančios ar padidinančios kartografuojamą plotą. Realiai tai atrodo kaip iškreiptas – anamorfinis – paviršius. Remiantis vaizdo iškreptumo kriterijumi, kartografinės projekcijos skirstomos į:

1. **Vieno parametrų rinkinio projekcijos.**
2. **Sudėtinės projekcijos.**
3. **Daugiajuostės projekcijos.**
4. **Daugiabriaunės projekcijos.**
5. **Anamorfinės erdvės projekcijos.**

Sudėtinės projekcijos. **Šios projekcijos naudojamos pasaulio žemėlapiams sudaryti.**

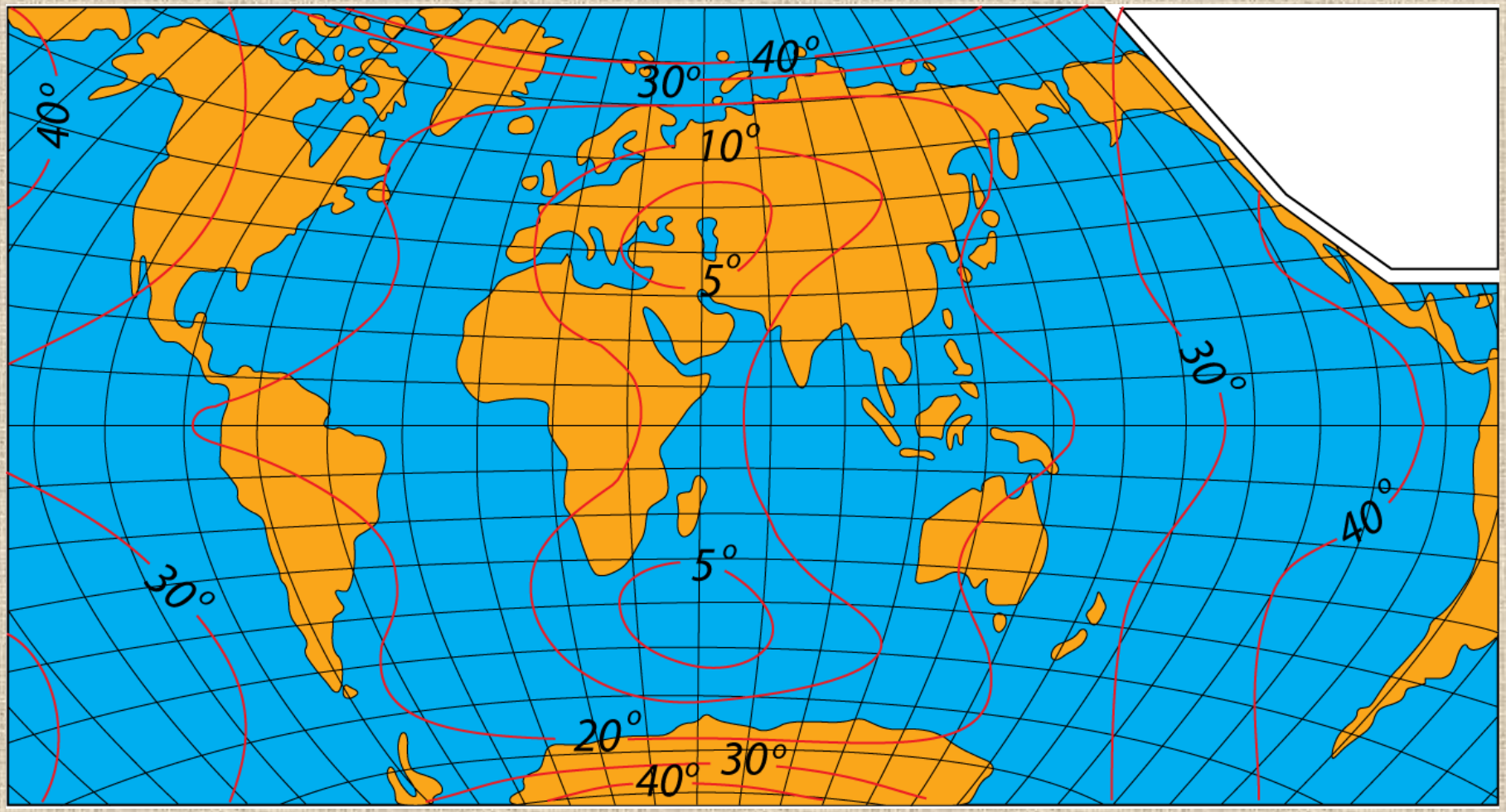
Sudėtinės kartografinės projekcijos - tai projekcijos kuriose atskiros kartografinio tinklo dalys sudaromos skirtingose projekcijose arba vienoje projekcijoje, tačiau su skirtingais projekcijos parametrų rinkiniais.

Sudarant sudėtines projekcijas yra galimybė manipuliuoti kartografinio vaizdo iškraipymu. Sudėtinės projekcijos gali būti *vientisos* ir *su trūkiais*.

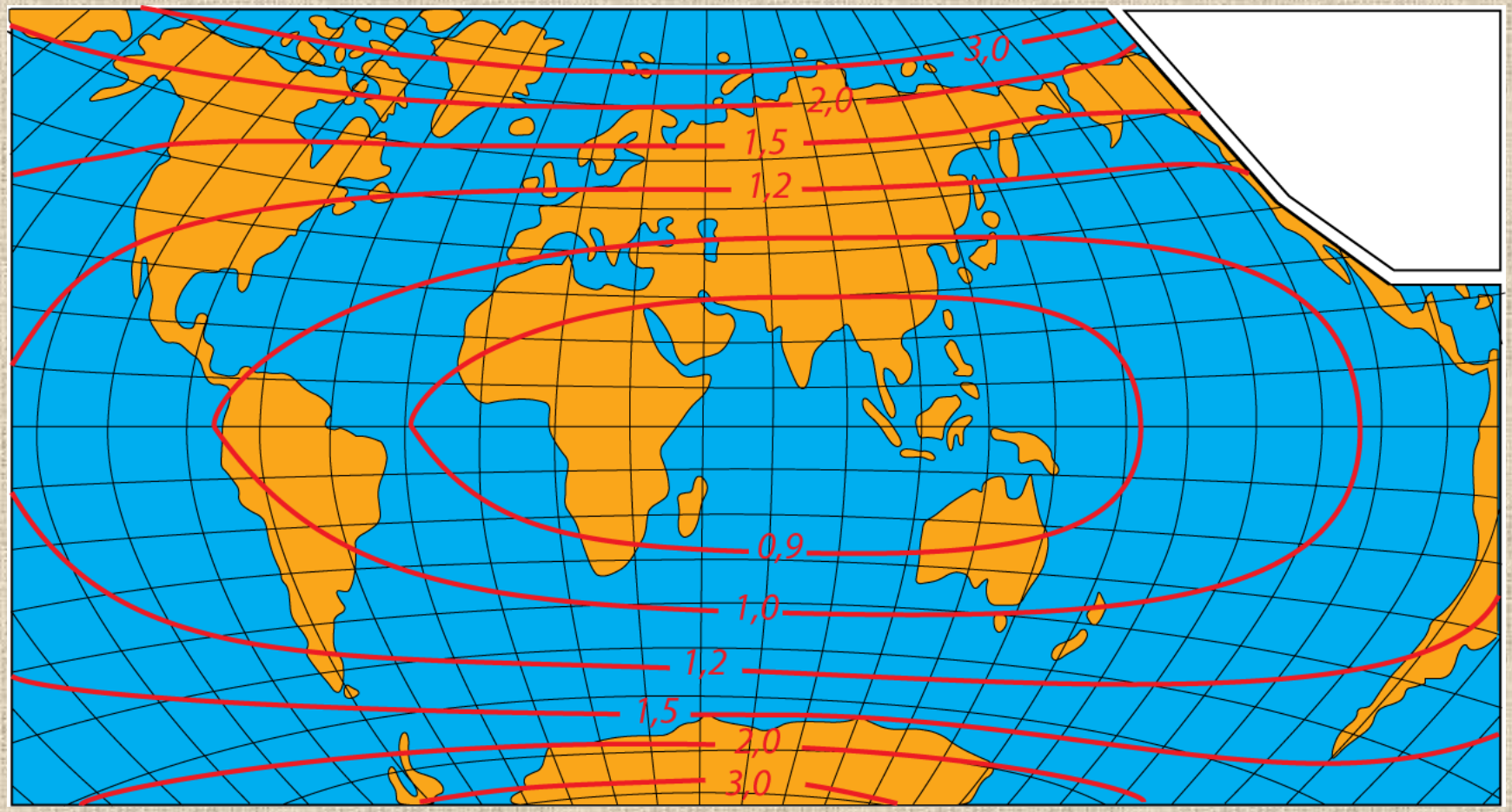
Toliau iliustracijose pateiktos Centriniame geodezijos, aeronuotraukos ir kartografijos mokslo tyrimo institute (CGAKMTI) 1954 metais sukurtos vientisos polikūginės projekcijos plotų ir kampų iškraipymo izokolos. Šios projekcijos kartografinis tinklas yra nesimetriškas vidurinio meridiano atžvilgiu, nors vizualiai ši asimetrija beveik nepastebima. Nesimetriškumą rodo žemėlapio kairės ir dešinės dalių izokolų raštas. Vakarinėje dalyje paralelės turi vienodus tarpus, rytinėje – skirtingus. Be to, rytinėje dalyje tarpai tarp meridianų periferijos link iš lėto trumpėja. Visa tai lemia, kad vakarinėje žemėlapio dalyje plotų iškraipymai yra didesni, o kampų iškraipymai mažesni nei rytinėje žemėlapio dalyje. Dėl to, kad rytinėje žemėlapio dalyje tarpai tarp meridianų mažėja periferijos link, Ramusis vandenynas nėra taip stipriai hipertrofuotas, kaip galėtų būti lygiatarpių paralelių atveju.

Kuriant sudėtines kartografines projekcijas, kurios turi trūkius, tikslinga naudoti pseudicilindrinius variantus. Jose paralelės yra tiesės, todėl nesudėtinga jas sutapatinti. Kuriamos pseudocilindrinės su trūkiais projekcijos, orientuotos į vientisą žemynų ir pertrauktą vandenynų vaizdą. Pavyzdžiui, Molveidės – Gudo pseudocilindrinė projekcija. Kiekvienam žemynui kartografuoti čia panaudota centrinė pseudocilindrinės projekcijos dalis, su tiesiu viduriniu meridianu. Visą kartografinį vaizdą į vieną visumą sujungia tiesi ekvatoriaus linija. Viduriniai meridianai parinkti taip, kad žemynų formos būtų mažiausiai iškraipytos.

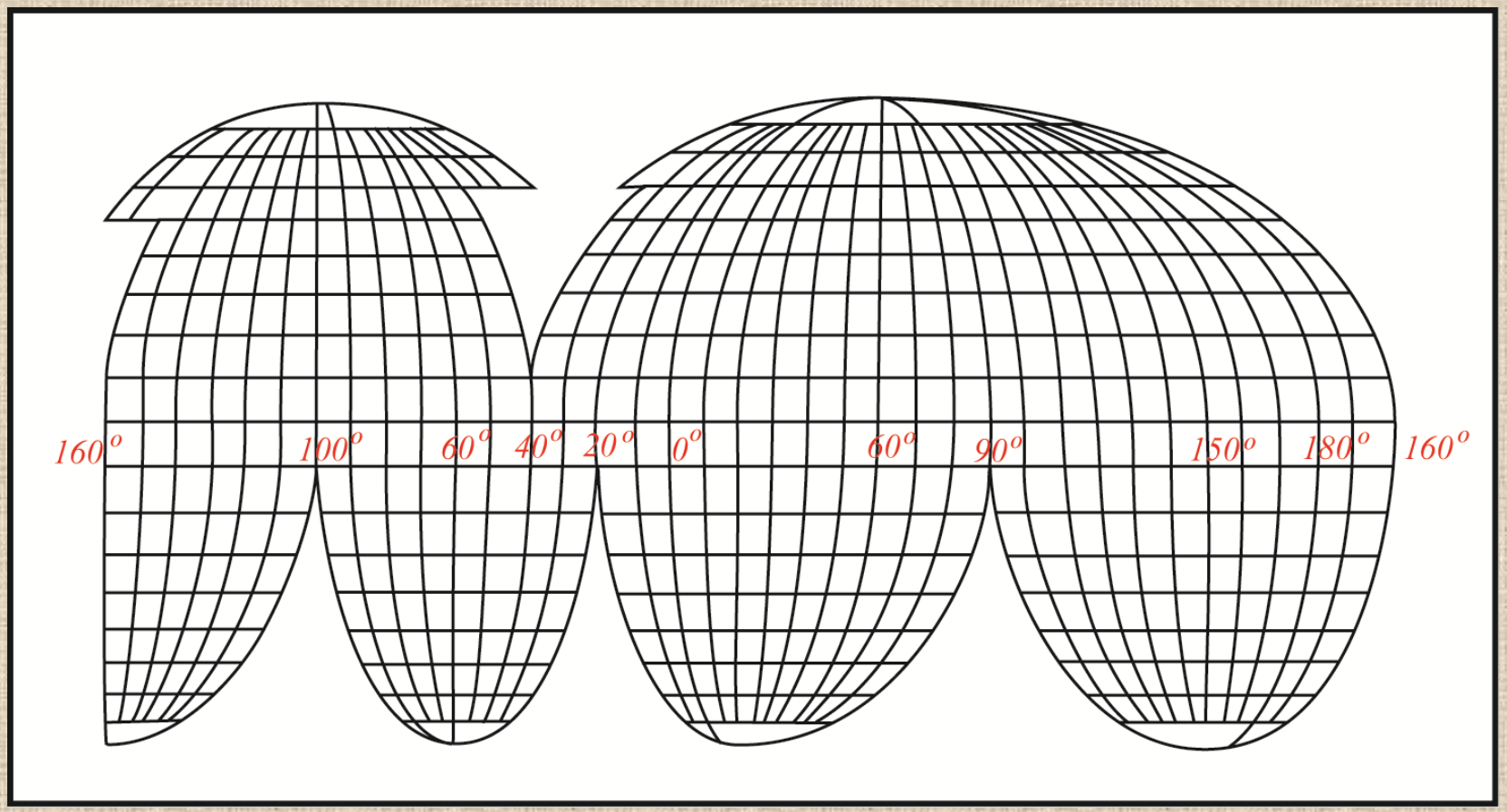
Panašiai kuriamos ir psudocilindrinės projekcijos, skirtos vandenynams kartografuoti. Šiuo atveju projekcijos trūkiai yra žemynuose, o viduriniai meridianai parinkti taip, kad jie eitu centrinėmis vandenynų dalimis. Visa tai leidžia teisingiau perteikti vandenynų kontūrų formas.



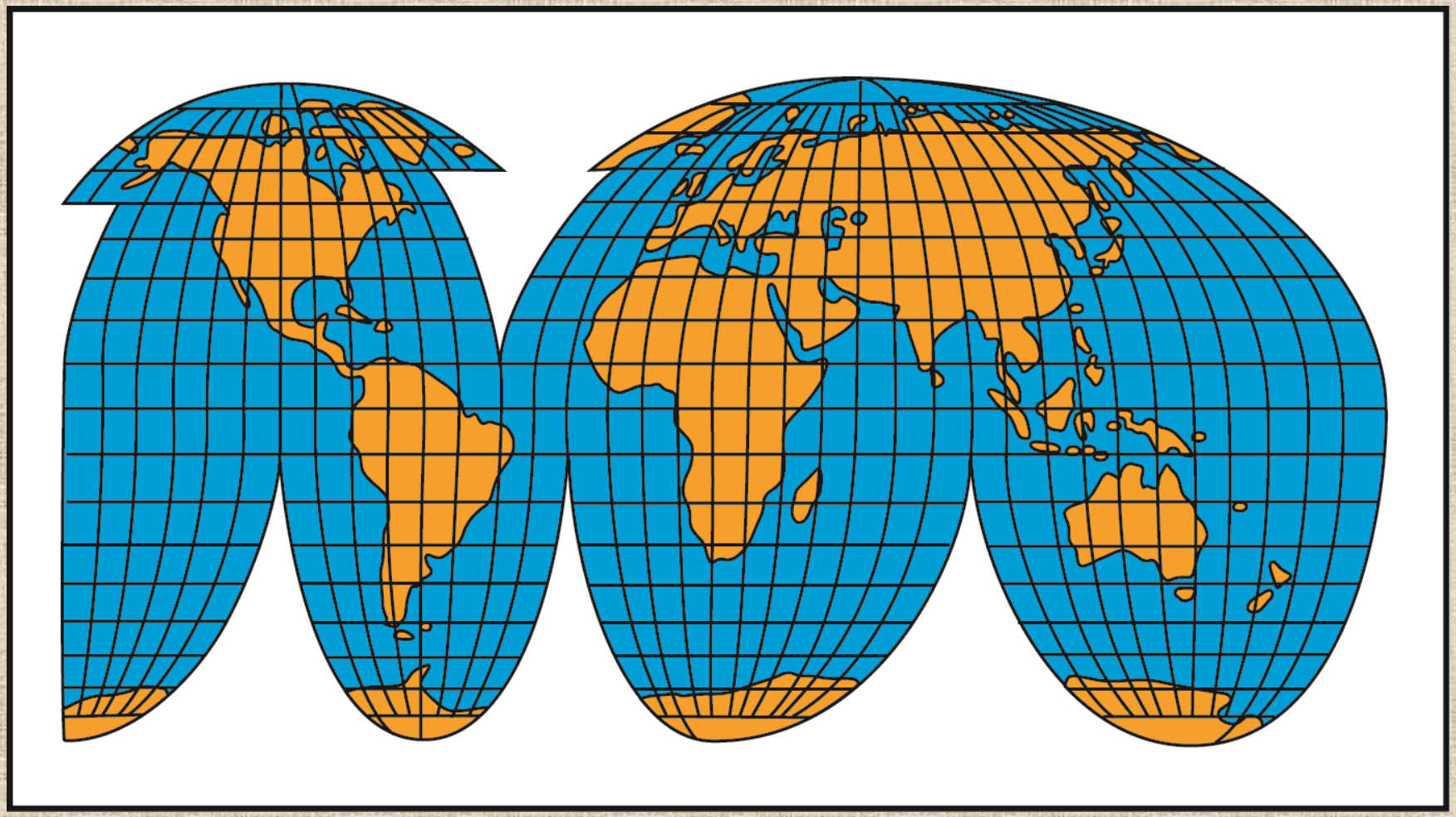
TSRS Centriniame geodezijos, aeronuotraukos ir kartografijos mokslo tyrimo institute (CGAKMTI) 1954 metais sukurtos vientisos polikūginės projekcijos kampų iškraipymo izokolos.



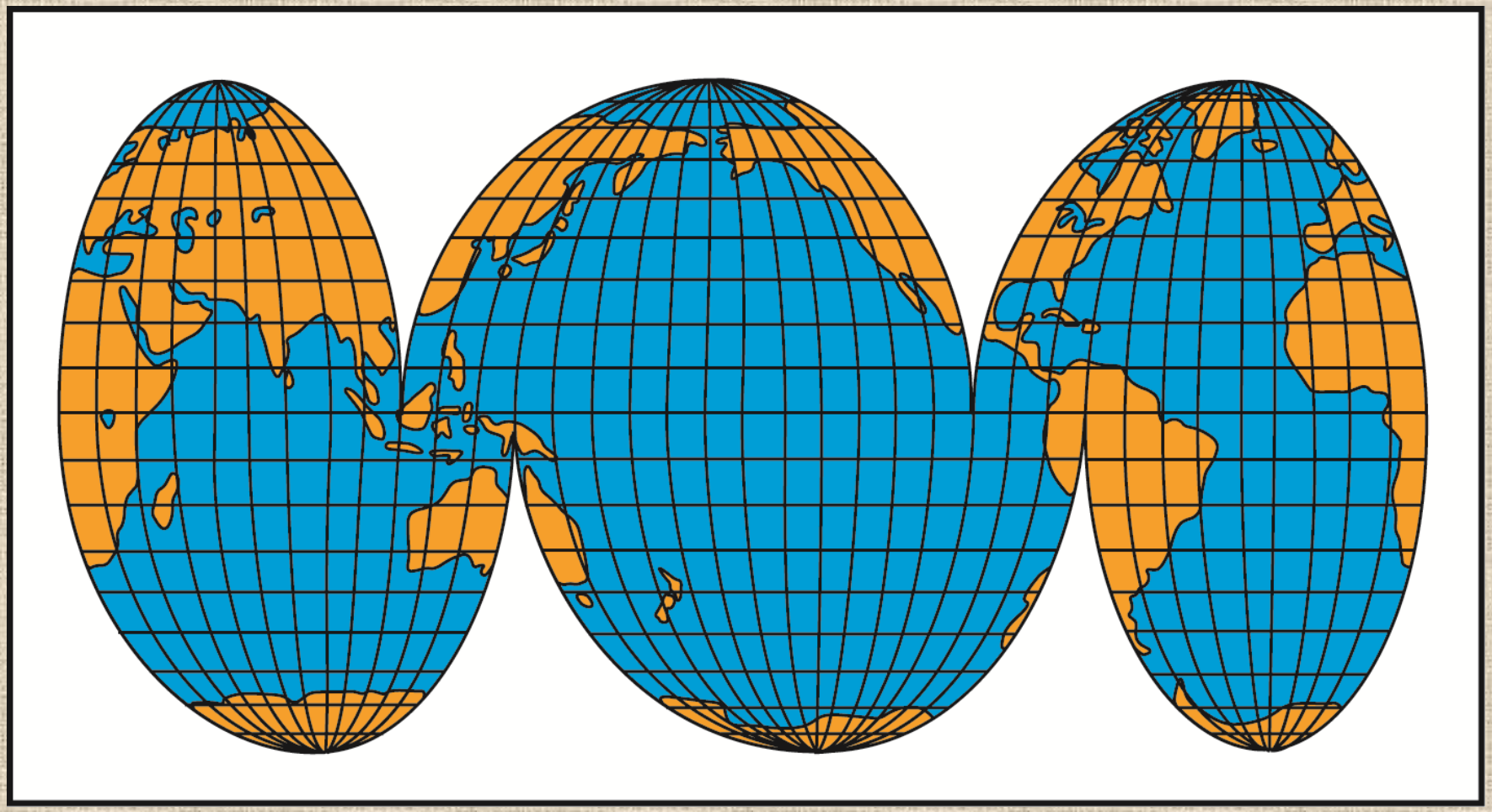
TSRS Centriniame geodezijos, aeronuotraukos ir kartografijos mokslo tyrimo institute (CGAKMTI) 1954 metais sukurtos vientisos polikūginės projekcijos plotų iškraipymo izokolos.



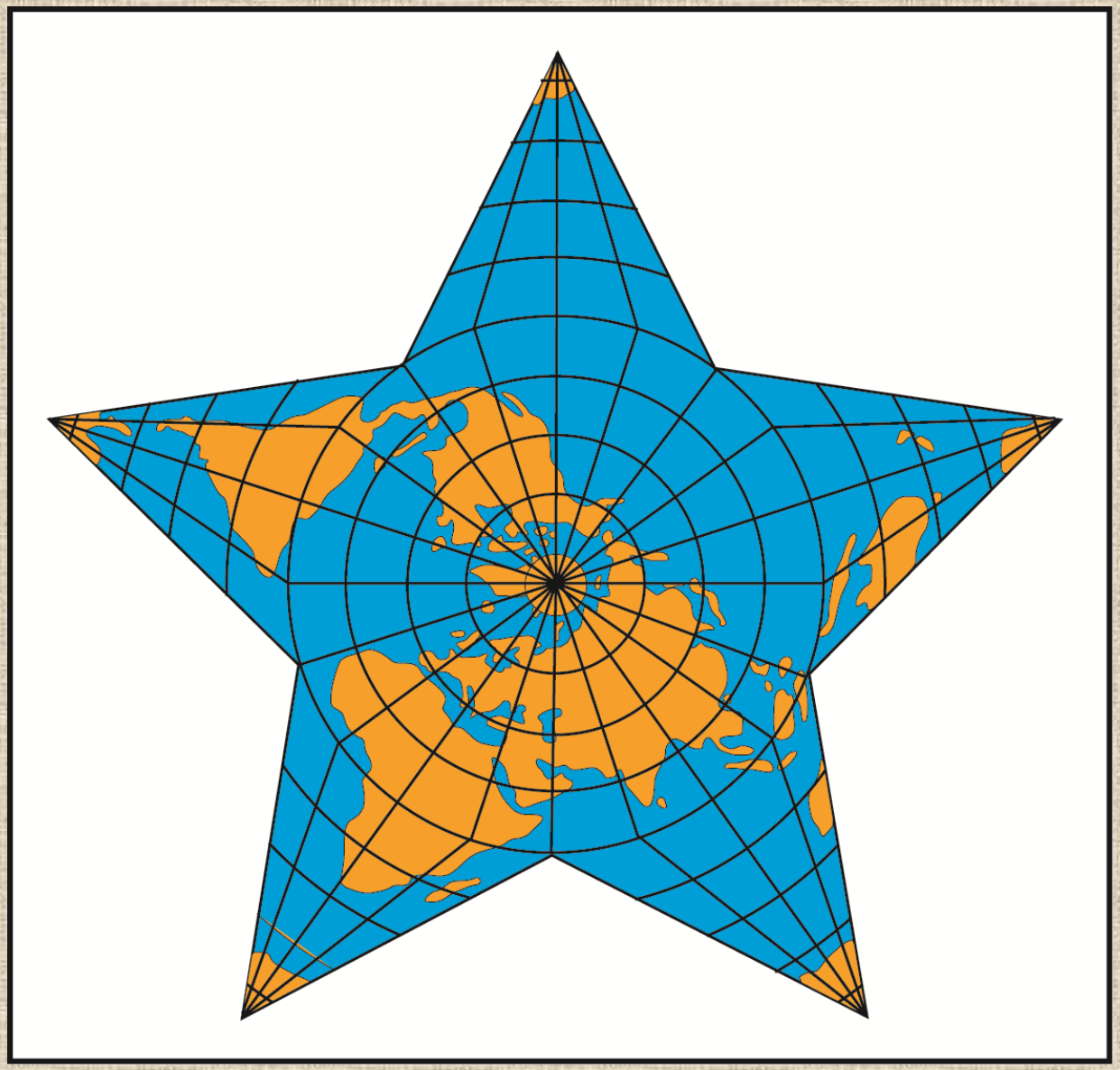
Molveidės – Gudo projekcijos sudarymo schema.



Pseudocilindrinė Molveidės – Gudo projekcija žemynams.



Pseudocilindrinė Molveidės – projekcija vandenynams.



Sudėtinga žvaigždiška projekcija

Šiuo metu yra sukurta gana daug sudėtinių su trūkiais kartografinių projekcijų. Vladimiras Kavraiskis lygiakampės cilindrinės Merkatoriaus projekcijos kartografinį tinklą ties 70º platuma sujungė su kelių cilindrinių lygiatarpių projekcijų tinklais. Panaši projekcija, kurioje lygiakampės cilindrinės Merkatoriaus projekcijos kartografinis tinklas ties 45º platuma sujungtas su pseudocilindrinių projekcijų, turinčių trūkius, šiaurės ir pietų pusrutuliuose, tinklais. Amerikiečių kartografas Osbornas Mileris (1897—1979) į vieną visumą sujungė tris įstrižas azimutines stereografine projekcijas, kurių viena pritaikyta Europai ir Afrikai, kita – Centrinei Azijai, trečia – Ramiajam vandenynui.

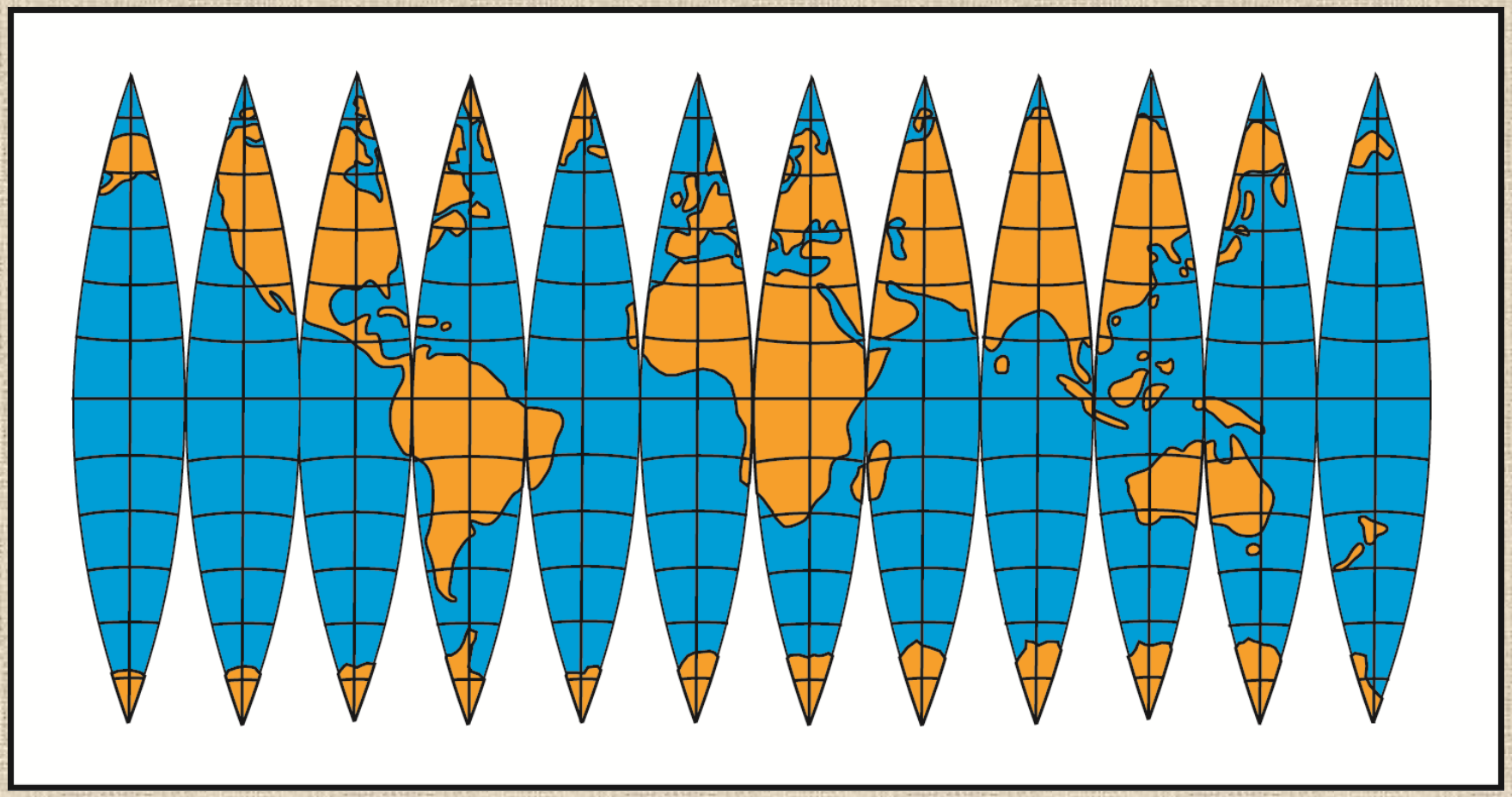
Originali žvaigždės formos projekcija. Jos centrinė dalis – lygiatarpė azimutinė projekcija, o spinduliai – pseudokūginės lygiatarpės projekcijos. Šią projekciją 1879 metais pasiūlė Heinrichas Karlas Vilhelmas Berhauzas (1797 – 1884).

Daugiajuostės projekcijos. **Siekiant sumažinti iškraipymus, gaunamus perkeliant sferinį paviršių į plokštumą, yra naudojamas ne ištisinis paviršiaus projektavimas, o atskirų jo dalių – juostų – projektavimas į plokštumą. Kiekviena projektuojamoji paviršiaus juosta gali turėti individualius parametrus. Tokiu būdu visas Žemės paviršius gali būti kartografuotas atskirais lapais – daugialapiai žemėlapiai.**

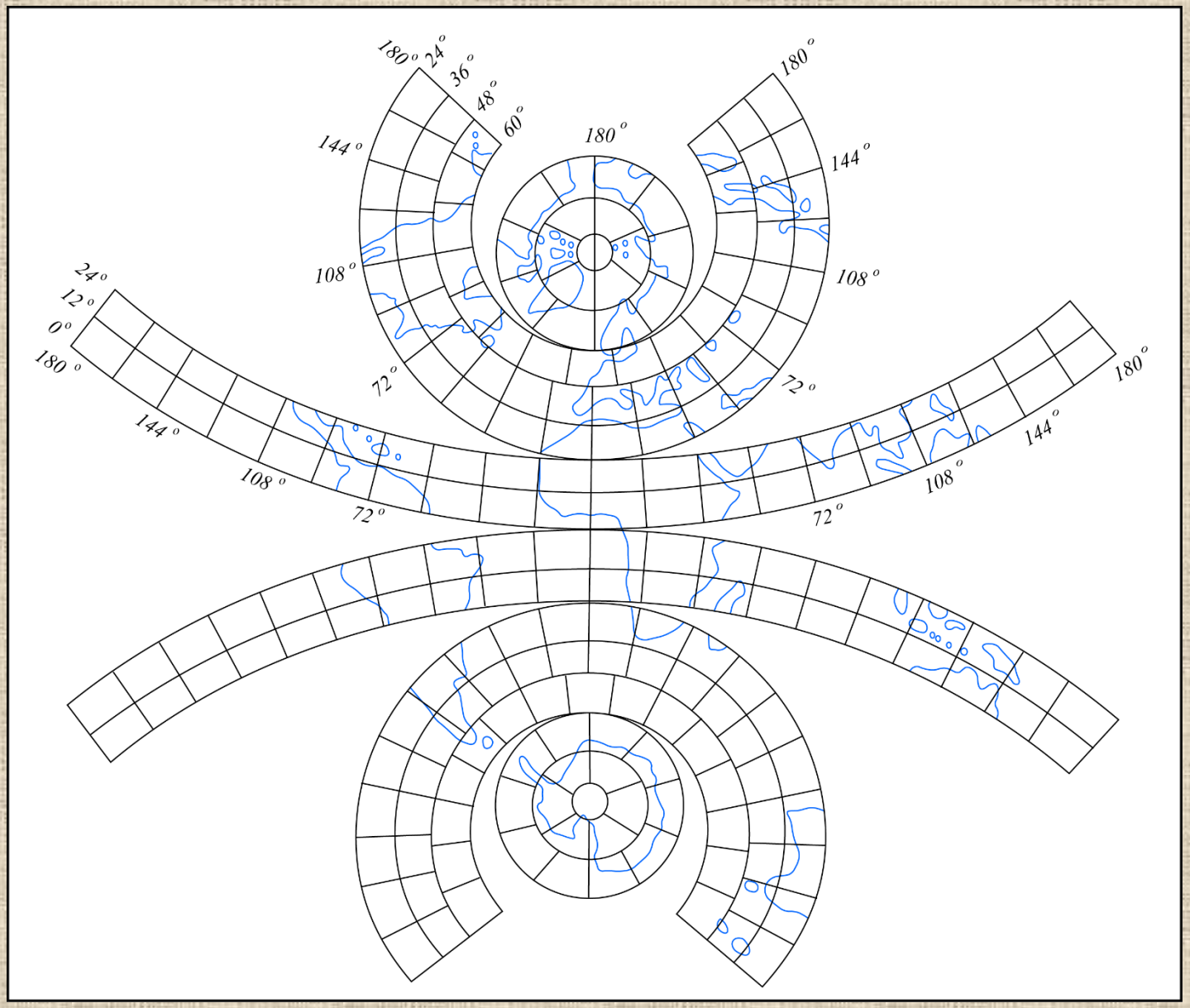
Daugiajuostės projekcijos – tai projekcijos, kuriose rutulio ar elipsoido paviršius suskaidomas į atskiras juostas, o atskiroms kartografuojamo paviršiaus juostoms suteikiami individualūs parametrai.

Juostos gali būti ribojamos meridianais arba paralelėmis. Pavyzdžiui, meridianinės juostos, kurių plotis yra 30º ilgumos, kartografuojamos polikūginėje projekcijoje, vėliau tą vaizdą perkeliant į gaublio paviršių. Topografinių žemėlapių sudarymui juostos ribojamos 6º ilgumos meridianais, o topografinių planų sudarymui – 3º meridianais. Topografiniuose žemėlapiuose šios juostos vadinamos zonomis. Zonų viduje kartografinis vaizdas kuriamas cilindrinėje skersinėje lygiakampėje Merkatoriaus projekcijoje (UTM). LKS – 94 koordinačių sistemoje naudojamas kertantysis cilindras. Cilindro spindulys lygus 0,9998 gaublio spinduliui. Tai leidžia eliminuoti iškraipymus ties 24º meridianu bei ženkliai juos sumažinti zonos pakraščiuose.

Paralelinis juostų variantas buvo panaudotas sudarant 1:2 500 000 tarptautinį daugialapį bendrageografinį žemėlapį. Žemės paviršius buvo suskirstytas į 6 paralelių juostas: 3 šiaurės pusrutulyje ir 3 – pietų. Poliarinės sritys kartografuotos normalioje azimutinėje lygiatarpėje meridianinėje projekcijoje, o likusios – normalioje kūginėje lygiatarpėje meridianinėje projekcijoje su skirtingais parametrais.



Daugiazonės projekcijos, kurių zonos apibrėžtos meridianais.



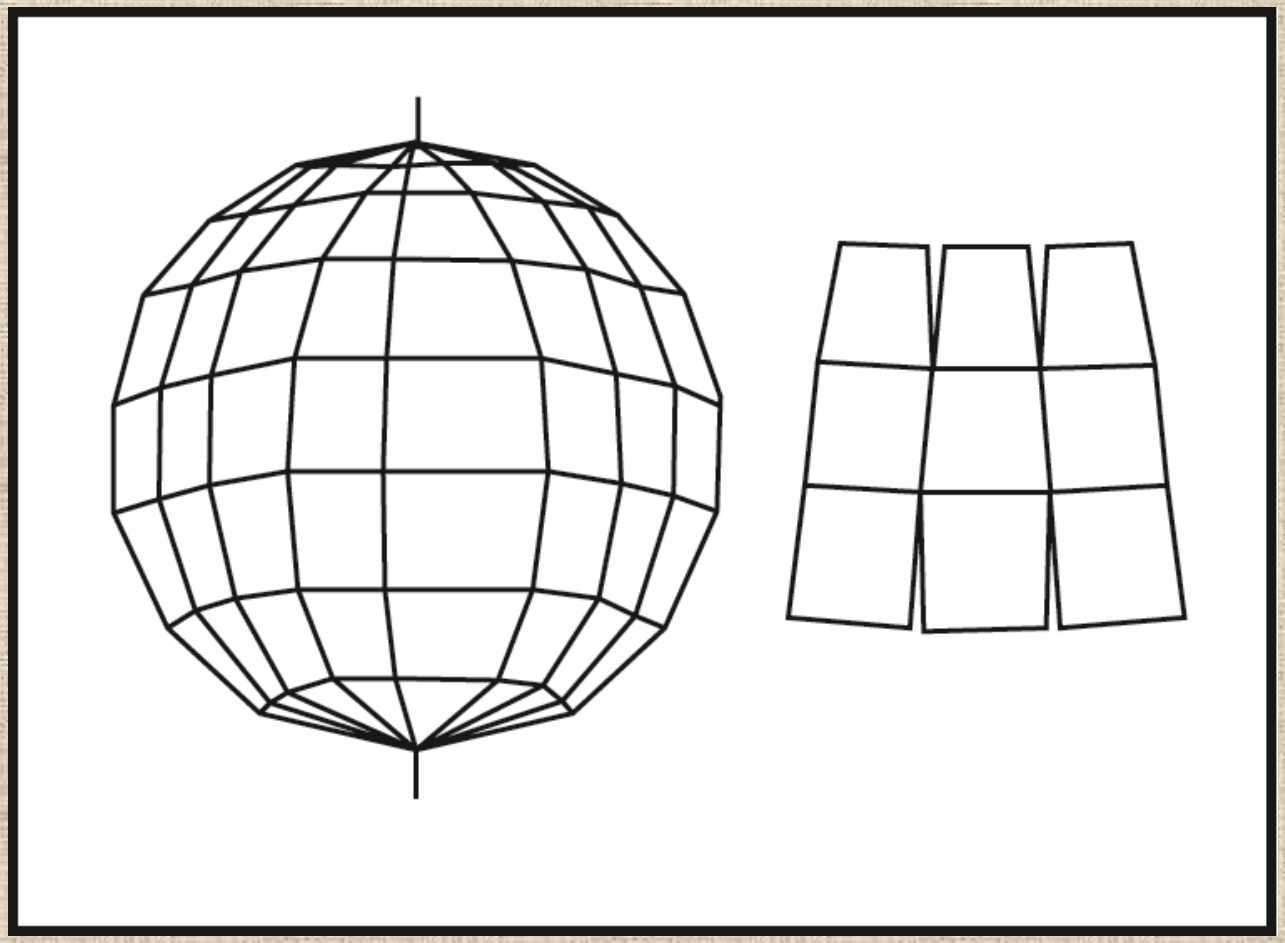
Tarptautinio 1:2 500 000 mastelio žemėlapio lapų skilčiavimo schema.

Daugiabriaunės projekcijos. **Rutulio ar elipsoido paviršius gali būti kartografinio tinklo linijomis padalintas į elementarius plotus – trapecijas. Toks dalijimas atliekamas siekiant sumažinti iškraipymus. Kiekviena trapecija atskirai projektuojama į plokštumą. Jeigu visu trapecijų lapus suklijuoti į visumą, nepaliekant trūkių tarp atskirų trapecijos lapų, susidarys daugiabriaunė figūra. Briaunų skaičius priklauso nuo trapecijų ploto: kuo mažesnis trapecijų plotas, tuo didesnis bus briaunų skaičius. Apžvalginių topografinių žemėlapių atveju visas Žemės paviršiaus plotas bus kartografuotas daugialapiame žemėlapyje, kurio kiekvieno lapo projekcija turės savus parametrus.**

Daugiabriaunės projekcijos – tai projekcijos, kurių parametrai individualiai kuriami kiekvienam daugialapio žemėlapio lapui ar lapų grupei.

Tokio daugiabriaunio žemėlapio pavyzdys – daugialapis tarptautinis Pasaulio žemėlapis masteliu 1:1 000 000. Kiekvienas šio žemėlapio lapas apribotas dviem meridianais ir dviem paralelėmis. Platumos skirtumai tarp paralelių yra 4º, o tarp meridianų – 6 º. Tarp 60 ir 76 º platumos laipsnių žemėlapio lapai dvigubinami, o tarp 76 ir 90 º – keturgubinami.

Daugiabriaunės projekcijos turi vieną trūkumą: jų lapų sudėti į vieną visumą be trūkių neįmanoma. Tai reiškia, kad jungiant lapus meridianų kryptimi susidaro trūkiai paralelių kryptimi arba jungiant lapus paralelių kryptimi susidaro trūkiai meridianų kryptimi. Trūkia dydis priklauso nuo trapecijų lapų dydžio: kuo didesnės trapecijos, tuo didesni trūkiai tarp kaimyninių lapų. 1:1 000 000 mastelio žemėlapių trapecijos nėra labai didelės, todėl žymesni trūkiai atsiranda jungiant 9 lapus į vieną visumą.



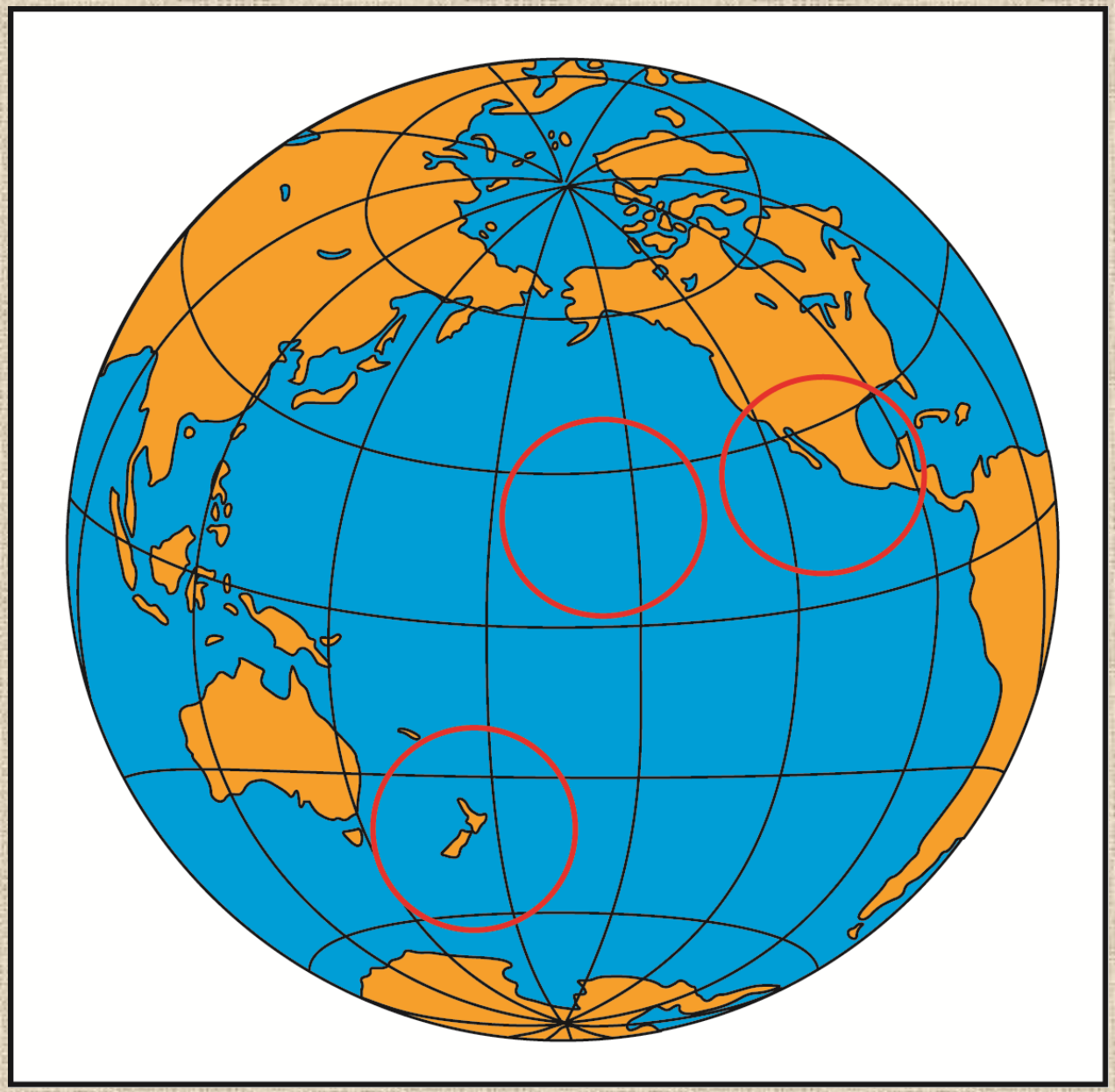
Daugiabriaunės projekcijos schema. Tarp žemėlapių lapų kolonų yra tarpai.

Anamorfinės erdvės žemėlapiai. **Kai kuriais atvejais kuriami žemėlapiai, kurių skirtingose dalyse erdvinis mastelis gali ženkliai skirtis nuo pagrindinio mastelio. Dažniausiai to siekiama sąmoningai: norima išskirti atskirus erdvės plotus ir juos kartografuoti stambesniu masteliu. Taip galima detaliau ir ryškiau pademonstruoti kiekybines erdvines kartografuojamų reiškinių charakteristikas. Geografinių objektų ar jų dalių pateikimas skirtingu masteliu lemia, kad reali erdvė žemėlapyje transformuojama. Tokios projekcijos leidžia sukurti anomorfinę erdvę.**

Anamorfinės erdvės projekcijos – ***tai projekcijos kuriose reali erdvė yra deformuota, o kartografinio vaizdo mastelis transformuojamas remiantis kiekybinėmis kartografuojamo reiškinio charakteristikomis arba siekiant perteikti padidintas ar sumažintas realios erdvės dalis.***

Dažnai žemėlapiuose stambesniu masteliu kartografuojamos ypatingos iškirtinės teritorijos: gyvenvietės, hidrografinio tinklo ir transporto mazgai, sudėtingas reljefas. Dažniausiai anamorfiniam erdvės pateikimui naudojamos plačiau paplitusių projekcijų modifikacijos: azimutinės, kūginės ar cilindrinės. Šiose projekcijose svarbių teritorijų plotų koordinatės pakeičiamos taip, kad visa ypatinga teritorija būtų kartografuota stambesniu masteliu. Pavyzdyje apskritimais išskirti plotai, kuriuose, palyginus su likusia teritorija, objektų vaizdas padidintas 2 kartus.

Tokie vaizdai kuriami taip. Numatomoje padidinti žemėlapio vietoje brėžiamas išorinis žiedas bei vidinis ratas. Išorinis žiedas suspaudžiamas taip, kad jo mastelis atitiktų likusio žemėlapio dalies masteliui, o vidinio rato mastelis atituktų būsimos padidintos dalies masteliui. Po to vidinis ratas padidinamas tiek, kad sutaptų su išoriniu žiedu.



Apskritimuose mastelis yra du kartus stambesnis nei likusiame žemėlapio plote.

Lokalizuoti mastelio pakeitimai (jo stambinimas) sukuria „padidinamojo stiklo“ efektą. Šis efektas gaunamas todėl, kad žemėlapio dalis ar jo įgyja pastovų stambesnį mastelį, nei likusios žemėlapio dalys. Padidintose dalyse kuriamas detalesnis vaizdas, tačiau kartu matomas ir smulkesnio mastelio vaizdas.

Kitas anamorfinių žemėlapių sudarymo būdas yra atvirkščias „padidinamojo stiklo“ efektui – nereikšmingų teritorijų vaizdas generalizuojamas (smulkinamas jų mastelis).

Tokioms transformacijoms dažniausiai naudojamos azimutinės lygiatarpės ar lygiaplotės projekcijos. Transformacijų esmė susiveda į atstumo *r*, rodančio nuotolį nuo išskirto centro, funkcijos *f (r)* skaičiavimą:

$$f(r) = \alpha \qquad f(r) = \alpha(1 + r)^{\beta} \qquad f(r) = \alpha \times e^{-\beta r}$$

$$f(r) = \alpha\sqrt{1 - \left(\frac{r}{\beta}\right)^2} \qquad f(r) = \frac{\alpha}{1 + \beta \times r^2}$$

Žemėlapyje gali būti vienas ar keli centrai, kuri realizuojamas „padidinamojo stiklo“ efektas. Tai *monofokalinės projekcijos* ir *polifokalinės projekcijos*.

Anamorfinio erdvės pateikimo projekcijos tampriai susijusios su anamorfozės supratimu. Anamorfozės – tai specifinis kartografinio vaizdo pateikimo būdas žemėlapiuose. Sudarant anamorfozes vaizdo mastelis transformuojamas ir varijuoja priklausomai nuo kartografuojamo reiškinio kiekybinių reikšmių pradiniame (baziniame) žemėlapyje. Yra skiriami šie anamorfozės tipai:

1. **Linijinė.**
2. **Plotinė.**
3. **Tūrinė.**

Linijinės anamorfozės naudojamos objektų nuotoliui per laiko prizmę pavaizduoti. Parenkamas centras nuo kurio matuojamas objektų pasiekiamumo laikas. Be to, stengiamasi perteikti ir realius nuotolius. Žemėlapyje kuriami izochronų (laiko nuotolis) ir ortogonalių linijų (realus atstumas) tinklai. Šie tinklai gali būti transformuojami ir virsta koncentriškais apskritimais ir radialiniais spinduliais.

Plotinėse anamorfozėse parinktų teritorijų plotai deformuojami taip, kad tampa proporcingos vaizduojamų reiškinių kiekybinėms reikšmėms: gyventojų skaičius įvairiose šalyse, bendrojo visuminio produkto kiekis.

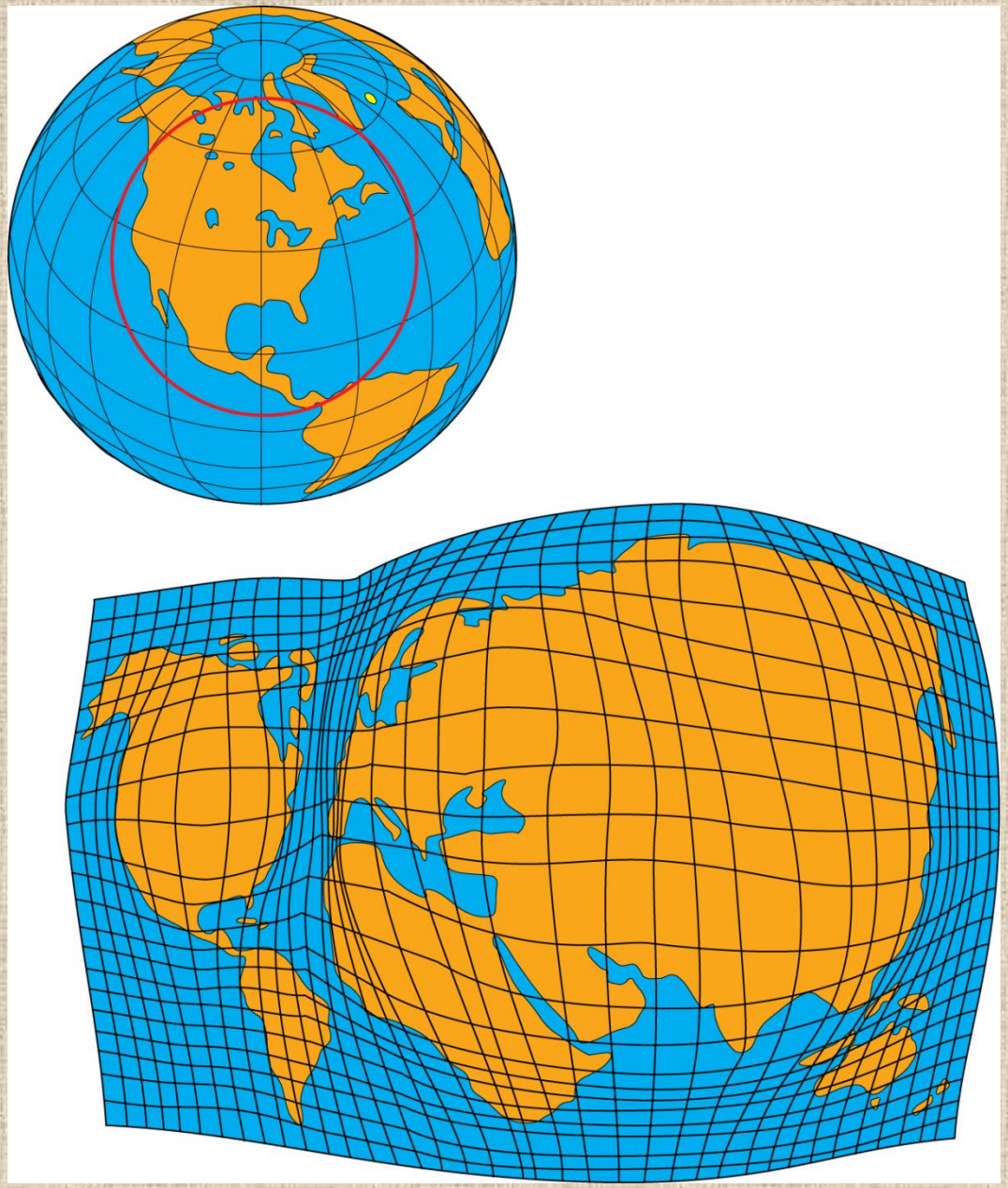
Tūrinėse anamorfozėse kartografuojami du rodikliai. Pavyzdžiui, gyventojų skaičius šalyse ir šalių BVP. Tokiame žemėlapyje šalies plotas bus proporcingas gyventojų skaičiui, o BVP bus išreikštas piramidėmis, kurių aukštis atitiks šalies BVP.

Kuriant anamorfozes bus iškraipomos realios formos (kontūrai, kartografinio tinklo linijos). Tai reiškia, kad kiekvienas anamorfinis žemėlapis yra unikalus – individualūs kartografuojami reiškiniai lemia atitinkamas projekcijas. Dažniausiai anamorfozių projekcijos yra pirminių žemėlapių projekcijų modifikacijos.

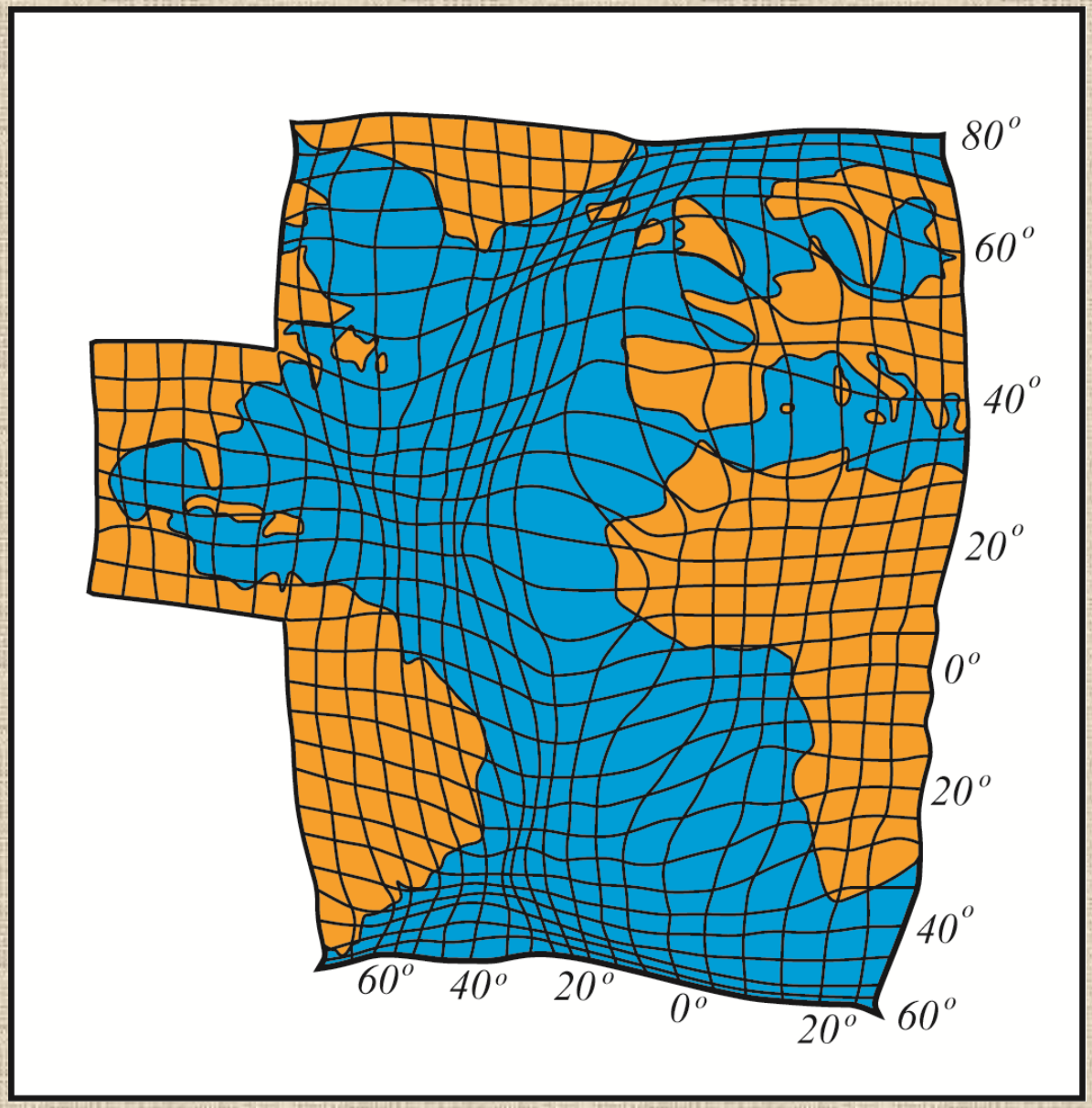
Projekcijų transformacijos anamorfozių atveju glaudžiai susiję su kartografuojamais reiškiniais. Projekcijų masteliai įvairiose žemėlapio vietose gali būti keičiami juos stambinant ar smulkinant. Transformuotose (anamorfizuotuose) erdvės vaizduose įkomponuojami atitinkami kartografuojamų reiškinių rodikliai.

Anamorfizuoti erdvės vaizdai gali būti kuriami ir specialiai sukurtose projekcijose. Švedas Torstenas Hagerstrandas sukūrė specialią azimutinę projekciją migracijos reiškiniams kartografuoti. Tai logaritminė azimutinė projekcija, kurią galima taikyti bet kokio dydžio teritorijai kartografuoti. Tokios projekcijos pavyzdys pateikiamas 63 paveiksle.

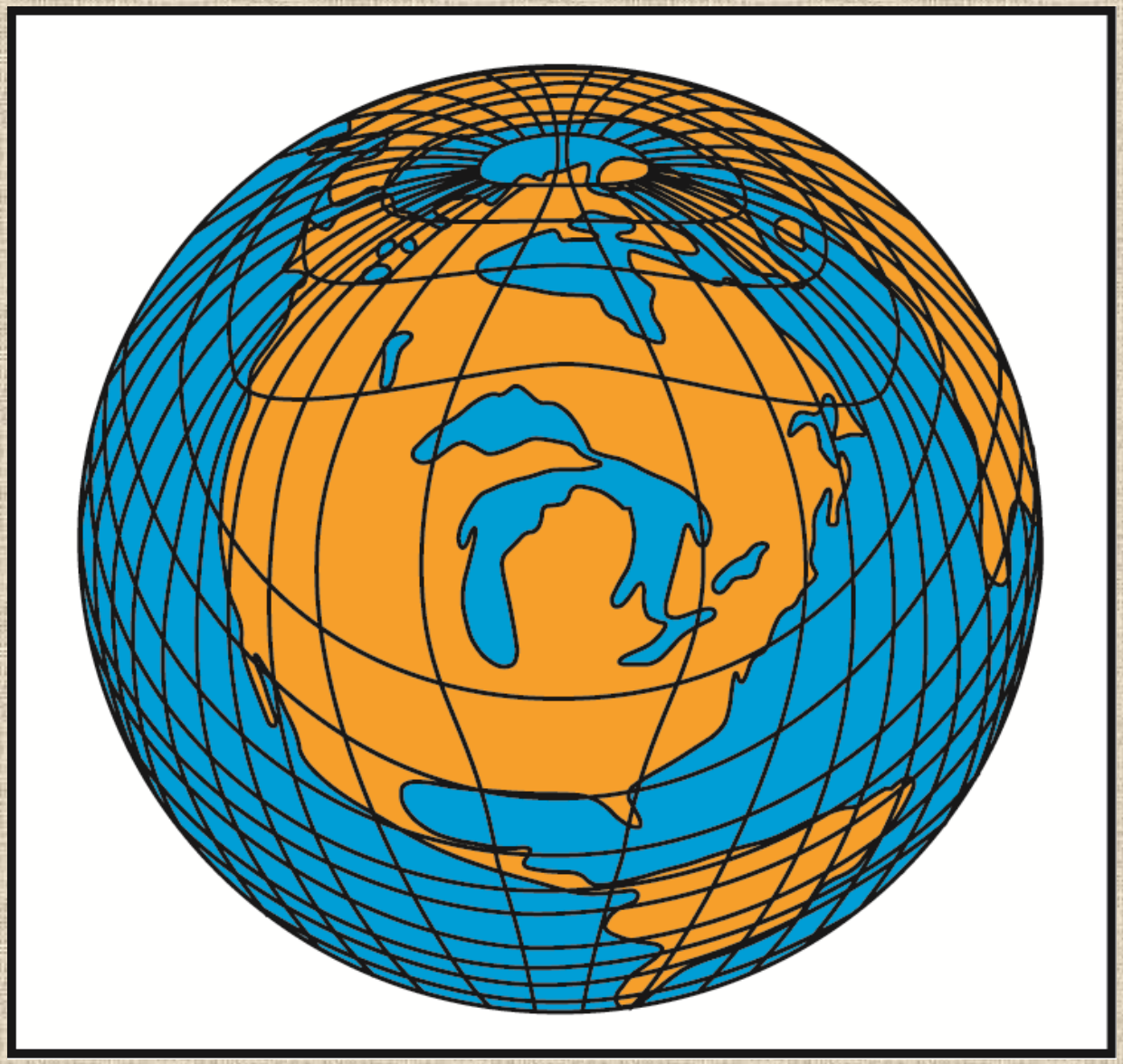
Kitas anamorfozės pavyzdys – tai laivų tankio žemėlapis šiaurės Atlante.



Viršuje – monofokusinė projekcija su pakeistu pagrindiniu masteliu. Apačioje - polifokusinė projekcija su centrais Šiaurės Amerikoje ir Eurazijoje.



Atlanto vandenyno anamorfozė.



Šiaurės Amerikos žemyno anamorfinis vaizdas – “žuvies akis”.

1987 metais rusų kartografas Levas Bugajevskis suformulavo anamorfinių projekcijų kūrimo teorines nuostatas:

1. Netolygiai paplitusių reiškinių ir objektų kartografavimui taikomos kintamo mastelio anamorfozės, kuriose kuriami besikeičiantys stambesnio ir smulkesnio mastelio plotai.

2. Anamorfozės pasižymi variantiškumu, kurį lemia kartografuojamo reiškinio charakteristikos, naudojamos erdvę apibūdinančiose formulėse.

3. Anamorfozės pasižymi erdvės dimensijų įvairove, kurią apibūdina kartografuojamo reiškinio parametrai (tonos, piniginė vertė, laikas, tūris), siejami su realia teritorija ir pasireiškiantys per kartografinio vaizdo transformaciją.