

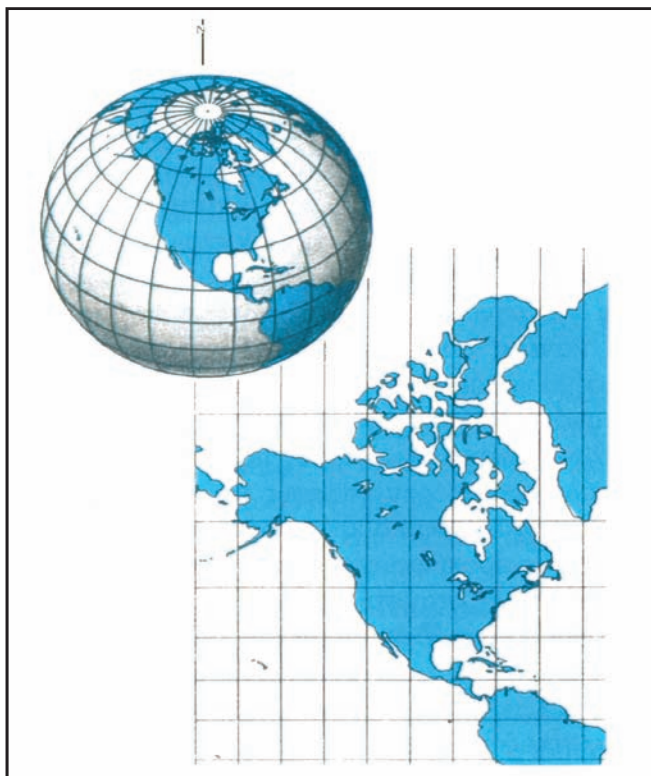
“ΜΕΤΡΩΝΤΑΣ” ΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΓΗ

του Υποπυραγού Αλέξανδρου Μαλούνη*

Μέρος 2^ο - Χαρτογραφικοί μετασχηματισμοί

Εισαγωγή

Είδαμε λοιπόν ως τώρα, ότι η γη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και σφαιρική και αυτό μπορεί να γίνει εμφανές όταν την σμικρύνουμε σε κλίμακα. Ένας απλός τρόπος χαρτογράφησης της γης χωρίς παραμόρφωση είναι να την απεικονίσουμε ως υδρογείο. Στην περίπτωση κατασκευής – χαρτογράφησης της ως υδρογείου το μόνο που θα μπορούσε κανείς να πει ότι αλλάζουμε είναι το μέγεθος, δηλαδή την κλίμακα. Οι σχετικές αποστάσεις, οι γωνίες, τα εμβαδά, τα τόξα και οι κύκλοι, διατηρούνται χωρίς καμία επιπρόσθετη παραμόρφωση. Από την άλλη πλευρά όμως η κατασκευή μίας υδρογείου έχει πρακτικά μειονεκτήματα. Είναι δαπανηρή, δύσκολη στην αναπαραγωγή, δύσχρηστη, δύσκολη ως προς την αποθήκευση, τη μέτρηση και τη σχεδίαση.



Εικόνα 1. Σύγκριση της υδρογείου μ' έναν επίπεδο χάρτη της γης.

Όλα τα παραπάνω μειονεκτήματα εξαλείφονται όταν δημιουργείται ένας χάρτης σε μία επίπεδη επιφάνεια. Ωστόσο, η κατασκευή ενός χάρτη σε επίπεδη επιφάνεια απαιτεί σημαντική διεργασία, πέραν της αλλαγής της κλίμακας. Η σχεδόν

σφαιρική επιφάνεια πρέπει να μετασχηματισθεί σε επίπεδη επιφάνεια. Αυτός ο συνδυασμός αλλαγής κλίμακας και συστήματος μετασχηματισμού αποτελεί τη χαρτογραφική προβολή. Ο χάρτης που δημιουργείται προϋποθέτει το εξής: να έχει ο θεατής μία ορθογώνια σχέση, δηλαδή να κοιτά κατ' ευθείαν προς τα κάτω, με όλα τα μέρη της επιφανείας της γης και με το χάρτη που τα απεικονίζει.

Είναι δεδομένο λοιπόν ότι μία σφαιρική σχεδόν επιφάνεια δεν μπορεί να μετασχηματισθεί σε ένα επίπεδο χωρίς να τροποποιηθεί η γεωμετρία της επιφανείας. Ευτυχώς, υπάρχουν πολλοί μετασχηματισμοί που διατηρούν ένα, ή ακόμα και περισσότερα, από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της υδρογείου. Η σπουδαιότητα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που μπορούν να διατηρηθούν εξαρτάται από την έκταση της περιοχής που χαρτογραφείται. Κάποια συστήματα μετασχηματισμού είναι κατάλληλα για απεικονίσεις ολόκληρης της γης παραβλέποντας την ακρίβεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, ενώ σε αντίθετη περίπτωση σε χάρτες μικρών περιοχών μπορεί να ασχολούμαστε σε μεγάλο βαθμό μ' εκείνα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που ελαχιστοποιούν στη διαφοροποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.

Η Υδρόγειος Αναφοράς

Ο καλύτερος τρόπος για να κατανοήσουμε πως δημιουργείται μια προβολή χάρτη είναι να τη θεωρήσουμε ως μία διαδικασία σε δύο στάδια. Πρώτα, υποθέτουμε ότι η γη έχει απεικονισθεί πάνω σε μία «σφαίρα» που έχει σμικρυνθεί στο μέγεθος (την κλίμακα) που έχει επιλεγεί για τον επίπεδο χάρτη. Η υποθετική αυτή σφαίρα ονομάζεται και «**υδρόγειος αναφοράς**». Δεύτερο, υποθέτουμε ότι η επιφάνεια της υδρογείου μετασχηματίζεται μαθηματικά, σημείο προς σημείο, πάνω σε μία επίπεδη επιφάνεια. Οι τρισδιάστατες πληροφορίες πάνω στην επιφάνεια της υδρογείου απεικονίζονται τώρα πάνω σε μία δισδιάστατη επίπεδη επιφάνεια.

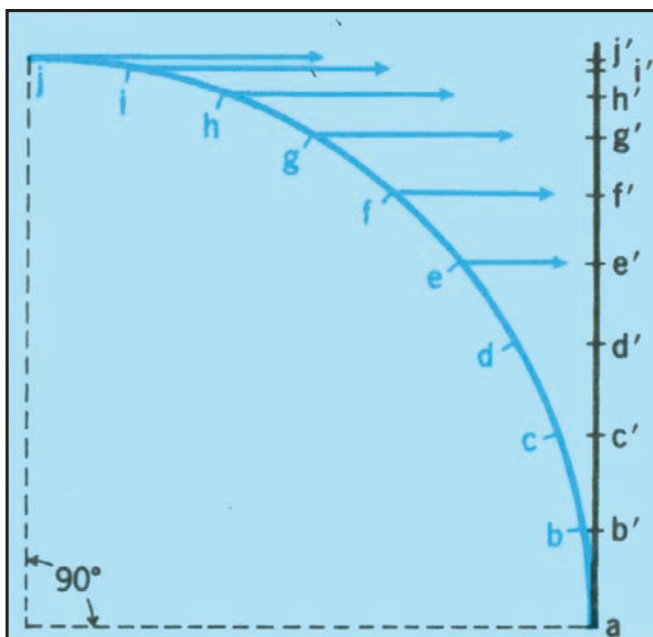
Η υδρόγειος αναφοράς θα έχει μία αντιπροσωπευτική κλίμακα, η οποία ονομάζεται **κύρια κλίμακα**. Για να βρούμε την κλίμακα αυτή διαιρούμε την ακτίνα της γης με την ακτίνα της υδρογείου. Σε αυτήν την υδρόγειο αναφοράς, **η πραγματική κλίμακα οπουδήποτε** θα είναι ίση με την κύρια κλίμακα. Ο **συντελεστής κλίμακας (ΣΚ)** είναι η πραγματική κλίμακα διαιρούμενη δια της κύριας κλίμακας. Έτσι λοιπόν, εξ ορισμού ο συντελεστής κλίμακας θα είναι 1,0 παντού πάνω στην υδρόγειο.

Ωστόσο, όταν ολόκληρη η υδρόγειος ή ένα μέρος της επιφανείας μετασχηματίζεται σε έναν επίπεδο χάρτη, η πραγματική



κλίμακα σε διάφορα μέρη του χάρτη θα είναι λίγο διαφορετική. Αυτό συμβαίνει γιατί η υδρόγειος και το επίπεδο δεν «εφαρμόζουν». Δηλαδή δεν μπορεί κανείς να μετασχηματίσει το ένα στο άλλο χωρίς να «τεντώσει», να σμικρύνει ή να τεμαχίσει. Συνεπώς ο συντελεστής κλίμακας θα διαφέρει πάντα από σημείο σε σημείο πάνω σε έναν επίπεδο χάρτη.

Για να αποκτηθεί μία οπτική εικόνα του τι συμβαίνει, μπορεί να φανταστεί κανείς ένα μοτίβο σημείων που ισαπέχουν στη σφαιρική γη. Θεωρήστε κατόπιν τα αντίστοιχα σημεία σε έναν επίπεδο χάρτη. Η μαθηματική διάταξη που χρησιμοποιείται για να ορισθούν οι θέσεις των σημείων πάνω στον επίπεδο χάρτη καθορίζει τη μέθοδο του μετασχηματισμού. Αφού οι δύο επιφάνειες δεν εφαρμόζουν, οι σχέσεις των αποστάσεων ανάμεσα στα δύο σημεία πάνω στον επίπεδο χάρτη πρέπει να τροποποιηθούν. Κατά συνέπεια είναι αδύνατο να επινοηθεί ένας μετασχηματισμός από την υδρόγειο στο επίπεδο, έτσι ώστε οποιοδήποτε σχήμα σχεδιαστεί πάνω στην πρώτη να δείχνει ακριβώς όμοιο και πάνω στο δεύτερο.



Εικόνα 2. Ορθογραφική προβολή ενός τόξου σε μία εφαπτόμενη ευθεία γραμμή.

Μέθοδοι Μετασχηματισμών

Κάθε φορά που η σφαιρική επιφάνεια μετασχηματίζεται σε επίπεδο, ένα πράγμα είναι βέβαιο: δεν είναι δυνατόν να αναπαραχθούν πιστά όλες οι γεωμετρικές σχέσεις που υπάρχουν πάνω στη σφαίρα, όπως οι παράλληλοι να διατηρηθούν παράλληλοι, οι μεσημβρινοί να συγκλίνουν και οι παράλληλοι να τέμνουν κάθετα τους μεσημβρινούς. Οι κύριες μεταβολές έχουν να κάνουν με τις α) **γωνίες**, β) τα **εμβαδά**, γ) τις **αποστάσεις** και δ) τις **διευθύνσεις**. Πρέπει να γίνονται κατανοητές οι επιδράσεις που έχουν τα διάφορα είδη μετασχηματισμών στην αναπαράσταση γωνιών, επιφανειών, αποστάσεων και διευθύνσεων και τα αποτελέσματα παραμόρ-

φωσης που δημιουργούν..

Α) Μετασχηματισμός γωνιών: Σε κάθε σημείο της υδρόγειου οι κύριες διευθύνσεις απέχουν πάντα 90° . Είναι δυνατό να διατηρήσουμε αυτή την ιδιότητα των γωνιακών σχέσεων σε μία χαρτογραφική προβολή. Όταν οι σωστές γωνίες διατηρούνται, η προβολή ορίζεται ως «**σύμμορφη**» ή «**ορθομορφική**». Και οι δύο λέξεις σημαίνουν τη «σωστή μορφή ή σχήμα». Είναι σημαντικό να καταλάβει κανείς ότι αυτοί οι όροι ισχύουν για διευθύνσεις ή γωνίες που αναφέρονται σε σημεία απειροελάχιστων μικρών επιφανειών. Αυτή η ιδιότητα του σωστού σχήματος δεν ισχύει για περιοχές σημαντικού μεγέθους.

Β) Μετασχηματισμός επιφανειών: Είναι δυνατόν σε μία προβολή να διατηρήσουμε την αναπαράσταση των επιφανειών, έτσι ώστε όλες οι περιοχές να απεικονίζονται με σωστά σχετικά μεγέθη. Μία τέτοια προβολή λέγεται «**ισοδύναμη**».

Αξίζει να παρατηρήσουμε, χωρίς να μπούμε στην διαδικασία να το εξηγήσουμε εδώ, ότι καμία χαρτογραφική προβολή δεν είναι δυνατό να είναι σύμμορφη και ισοδύναμη. Έτσι λοιπόν οι σύμμορφοι μετασχηματισμοί θα εμφανίζουν παρόμοιες περιοχές της γης με άνισα μεγέθη, και όλοι οι ισοδύναμοι μετασχηματισμοί θα παραμορφώνουν τις περισσότερες γωνίες της γης.

Γ) Μετασχηματισμός αποστάσεων: Για να αποδοθεί πραγματικά μία απόσταση ανάμεσα σε δύο σημεία πάνω σε μία προβολή, η κλίμακα πρέπει να είναι ομοιόμορφη κατά μήκος όλης της γραμμής που ενώνει τα δύο σημεία. Έχουμε λοιπόν δύο επιλογές όταν αναπαριστούμε την απόσταση σε ένα χάρτη:

- Να διατηρηθεί ένας συντελεστής κλίμακας 1,0 κατά μήκος μίας ή περισσότερων παράλληλων γραμμών, αλλά μόνο κατά μήκος των γραμμών. Αυτές οι γραμμές ονομάζονται **βασικές γραμμές** ή **βασικοί παράλληλοι**.

- Να διατηρηθεί ένας συντελεστής κλίμακας 1,0 σε όλες τις διευθύνσεις γύρω από ένα ή δύο σημεία, αλλά μόνο από αυτά τα σημεία. Οι χαρτογραφικές προβολές που προκύπτουν έτσι ονομάζονται «**ισαπέχουσες**» και τα σημεία αυτά «**βασικά σημεία**».

Δ) Μετασχηματισμός διευθύνσεων: Όπως είναι αδύνατο να αναπαραστήσουμε όλες τις αποστάσεις της γης με μία συνεπή κλίμακα χάρτη, έτσι είναι αδύνατο να αναπαραστήσουμε όλες τις διευθύνσεις της γης σωστά με μία ευθεία γραμμή. Μπορούμε να θεωρήσουμε ως σωστή διεύθυνση σε μία χαρτογραφική προβολή ένα «**μέγιστο κύκλο**» που απεικονίζεται ως ευθεία γραμμή. Στο αρχικό σημείο του τόσο στην «υδρόγειο αναφοράς» όσο και στη προβολή του χάρτη, αυτή η γραμμή θα ξεκινήσει από το μεσημβρινό. Με δεδομένες αυτές τις συνθήκες, αρκετές αναπαραστάσεις είναι πιθανές:

- Τα τόξα των μέγιστων κύκλων ανάμεσα σε όλα τα σημεία μπορούν να απεικονισθούν από ευθείες γραμμές για μία πολύ περιορισμένη περιοχή.

- Τα τόξα των μέγιστων κύκλων με σωστά αξιμούθια μπορεί

ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

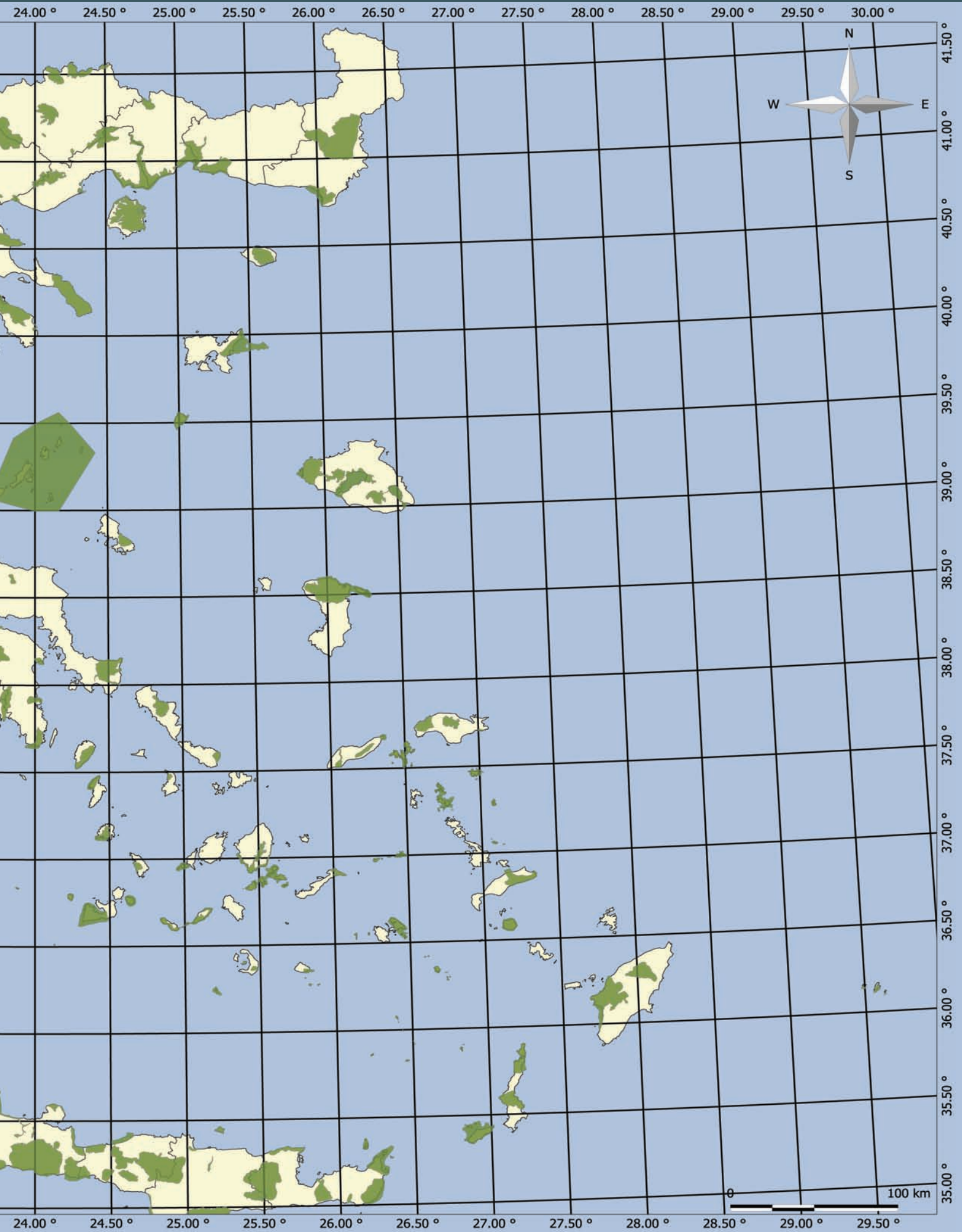
Διοικητικά Όρια

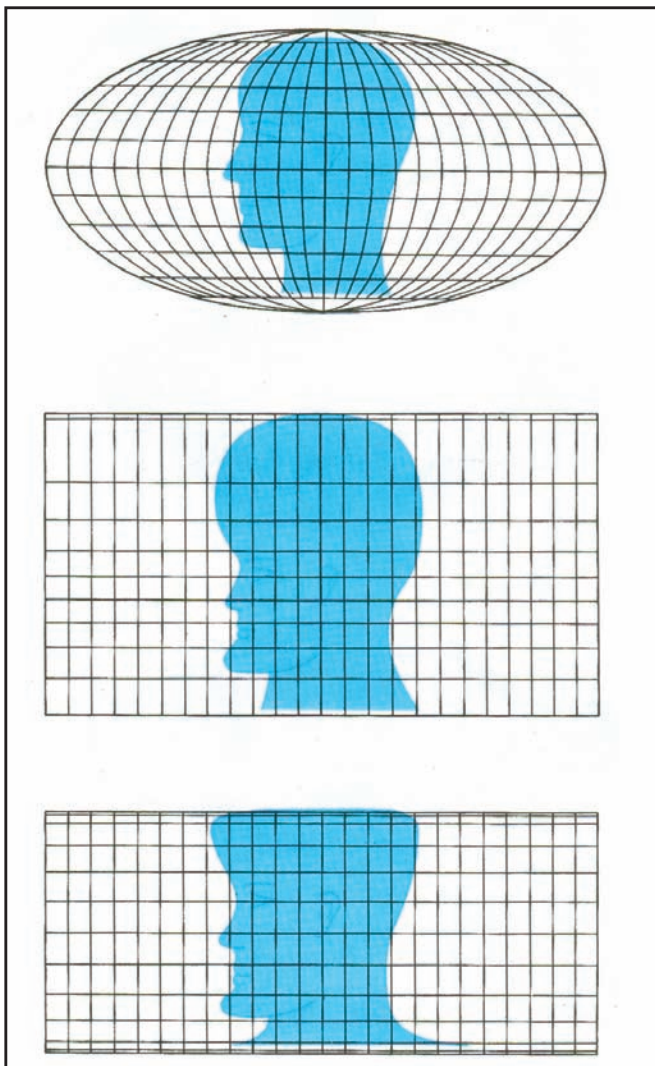
Όρια Νομών

Περιβάλλον

Περιοχές Natura

Για όσους διάβασαν το προηγούμενο άρθρο με προσοχή θα πρέπει να αντελήφθησαν ότι στο παράδειγμα με το σημείο στην άκρη του λιμενοβραχίονα του λιμανιού του Βόλου, κάτι δεν ήταν σωστό. Δίπλα στην αναφορά Γεωγραφικό Μήκος ήταν η τιμή του πλάτους και το αντίστροφο, στην τιμή του Πλάτους ήταν η τιμή του Μήκους. Ευκαιρία να ξανά-επισκεφθείτε το προηγούμενο άρθρο. Γίνεται έτσι κατανοητό ότι η Ελλάδα κυμαίνεται από 34.00B ως 41.50B και 19.00A ως 29.50A περίπου.



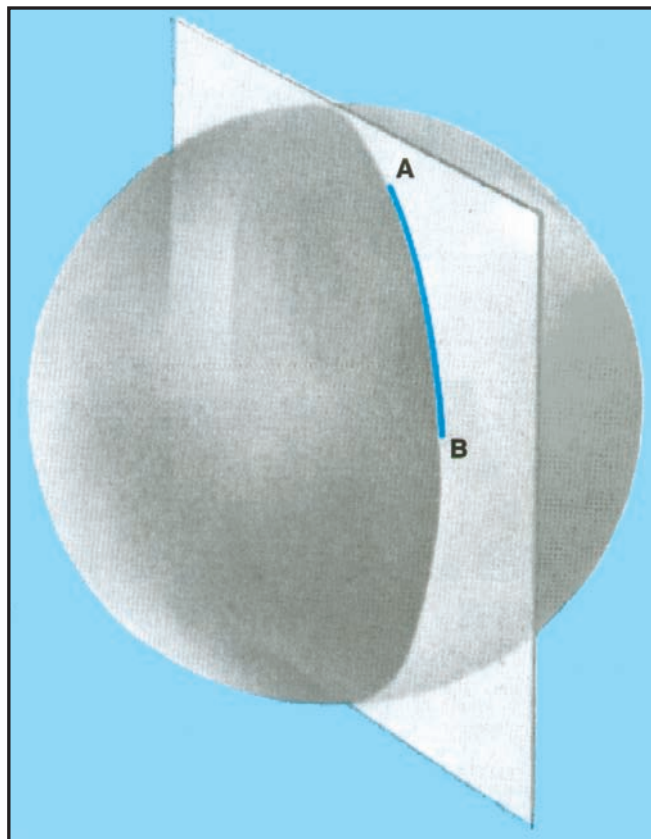


Εικόνα 3 Ένα κεφάλι σχεδιασμένο στη προβολή Mollweide (πάνω) έχει μεταφερθεί στη μερκατορική προβολή (κέντρο) και στην ισοδύναμη κυλινδρική προβολή με σταθερούς παραλλήλους στις 30° (κάτω). Απλά και μόνο επειδή το προφίλ δείχνει πιο φυσιολογικό στη προβολή Mollweide, δεν σημαίνει ότι αυτή η προβολή είναι απαραίτητα η «καλύτερη».

να απεικονίζονται ως ευθείες γραμμές σε όλες τις διευθύνσεις γύρω από ένα ή το πολύ δύο σημεία. Οι χαρτογραφικές προβολές που προκύπτουν έτσι ονομάζονται «αξιμουθιακές».

Μέγιστος κύκλος

Η μικρότερη απόσταση ανάμεσα σε δύο σημεία είναι η ευθεία. Στην καμπύλη τρισδιάστατη επιφάνεια της σφαιρικής γης όμως, είναι προφανώς αδύνατο να ακολουθήσουμε μια τέτοια ευθεία γραμμή. Η συντομότερη διαδρομή πάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας, που να ενώνει δύο σημεία της, είναι το τόξο που βρίσκεται ακριβώς «πάνω» από το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα δύο αυτά σημεία. Αυτό το τόξο σχηματίζεται από την τομή της σφαιρικής επιφάνειας με το επίπεδο που περνάει από τα δύο σημεία και το κέντρο της γης. Ο κύκλος που σχηματίζεται από την τομή ενός τέτοιου επιπέδου με την επιφάνεια χωρίζει τη γη σε δύο ημισφαίρια και ονομάζεται μέγιστος κύκλος.

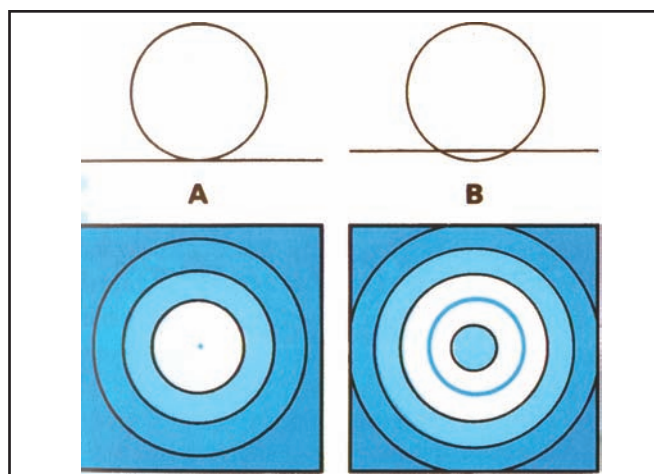


Εικόνα 4. Το ίχνος της τομής ενός επιπέδου με μία σφαίρα είναι ένας μέγιστος κύκλος όταν το επίπεδο περνάει από το κέντρο της σφαίρας. Οποιαδήποτε δύο σημεία σε μία σφαίρα, όπως το A και B, μπορούν να συνδεθούν με τόξο ενός μέγιστου κύκλου, και αυτό το τόξο είναι ο συντομότερος δρόμος στην σφαιρική επιφάνεια ανάμεσα στα δύο σημεία.

Παραμορφώσεις και μοτίβα παραμορφώσεων

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι να συγκρίνουμε τις χαρτογραφικές προβολές σε σχέση με το μέγεθος και την κατανομή της παραμόρφωσης. Άλλες συγκρίσεις είναι αποκλειστικά γραφικές και παρέχουν οπτική παρουσίαση της περιοχής και των μεγεθών της παραμόρφωσης, ενώ άλλες μαθηματικού περιεχομένου και έχουν ως αποτέλεσμα μια ποσοτική μέτρηση της παραμόρφωσης. Όπως είδαμε και στο προηγούμενο άρθρο μία σφαίρα (που χρησιμοποιείται ως μοντέλο της γης) έχει ομοιόμορφη επιφάνεια. Για να αναγνωρίσουμε μία τοποθεσία πάνω σε αυτή χρησιμοποιούμε το πλέγμα που δημιουργείται από το σύστημα των γεωγραφικών συντεταγμένων μήκους και πλάτους της γης. Το πλέγμα είναι τόσο χαρακτηριστικό που συχνά το φέρουμε στο μυαλό μας όταν σκεφτόμαστε την επιφάνεια της γης.

Υπάρχουν αρκετές οδηγίες που πρέπει να λαμβάνει κανείς υπ' όψη όταν επιλέγει ένα μετασχηματισμό για να κατασκευάσει την προβολή ενός χάρτη. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να σκεφτεί είναι η βασική ιδιότητα της προβολής, όπως η συμμορφία, η ισοδυνα-



Εικόνα 5. Αζιμουθιακά μοτίβα παραμόρφωσης. (Α) το μοτίβο όταν το επίπεδο εφάπτεται στη σφαίρα σε ένα σημείο και (Β) το μοτίβο όταν το επίπεδο τέμνει τη σφαίρα. Στο Β, το ίχνος της τομής θα είναι ένας μικρός κύκλος στην υδρόγειο, όχι απαραίτητα ένας γεωγραφικός παράλληλος. Το βασικό σημείο Α και η βασική γραμμή στο Β, όπου ο $SK=1.0$, είναι με κυανό χρώμα.

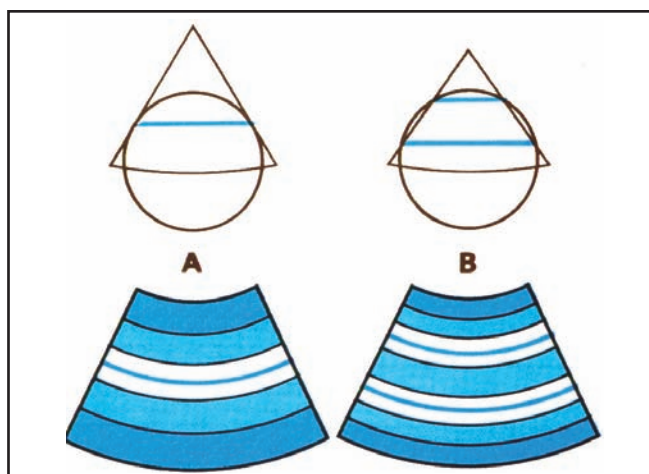
μία, η διατήρηση των αζιμούθιων, η εύλογη εμφάνιση κ.ο.κ. Στοιχεία της προβολής όπως η παραλληλία των παραλλήλων, η τοπικά περιορισμένη επιφανειακή παραμόρφωση και οι ορθογώνιες συντεταγμένες μπορούν επίσης να συμβάλουν στην επιτυχία ενός χάρτη. Ένα δεύτερο σημαντικό στοιχείο είναι το ποσοστό και η κατανομή της παραμόρφωσης. Η μέση παραμόρφωση, είτε **μέγιστη γωνιακή (2Ω)** είτε **επιφανειακή, (S)**, είναι η μέση αριθμητική τιμή των παραμορφώσεων στα διάφορα σημεία της προβολής. Έτσι, είναι επιθυμητό ένα καλό ταίριασμα ανάμεσα στο σχήμα της χαρτογραφούμενης περιοχής και στο παραμορφωμένο σχήμα της περιοχής.

Κάποιοι τύποι προβολών έχουν παρόμοια μοτίβα παραμόρφωσης τα οποία παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν. Μέσα στις σκιασμένες περιοχές, οι έντονες γραμμές είναι οι βασικές γραμμές. Όσο σκουρότερη είναι η σκίαση, τόσο μεγαλύτερη η παραμόρφωση.

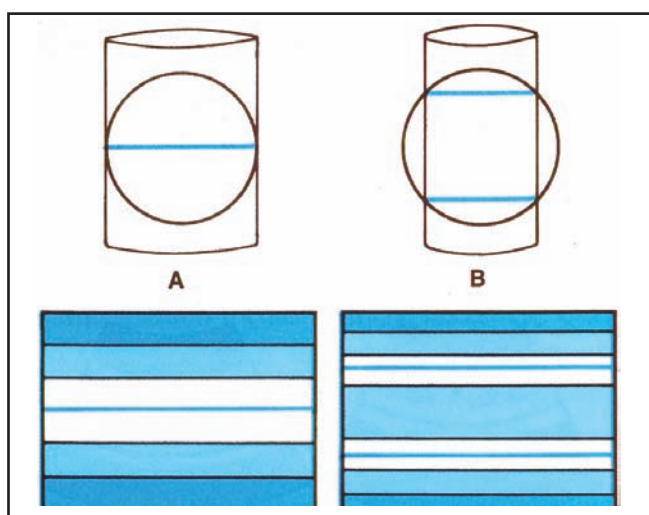
Το **αζιμουθιακό μοτίβο** παραμόρφωσης προκύπτει αν ο μετασχηματισμός λάβει χώρα από την υδρόγειο προς ένα εφαιπτόμενο ή τέμνον επίπεδο. Το ίχνος της τομής του επιπέδου και της σφαίρας θα είναι φυσικά κυκλικό. Οι γραμμές ίσης παραμόρφωσης είναι ομόκεντρες γύρω από το σημείο επαφής ή το κέντρο του κύκλου τομής (**Εικόνα 5**).

Το **κωνικό μοτίβο** παραμόρφωσης προκύπτει αν ο αρχικός μετασχηματισμός γίνει πάνω στην επιφάνεια ενός πραγματικού κώνου που εφάπτεται σ' ένα μικρό κύκλο ή που τέμνει σε δύο μικρούς κύκλους την υδρόγειο. Οι γραμμές ίσης παραμόρφωσης είναι παράλληλες στους βασικούς μικρούς κύκλους (**Εικόνα 6**).

Το **κυλινδρικό μοτίβο** παραμόρφωσης προκύπτει σε όλες τις προβολές που, κατ' αρχήν, αναπτύσσονται μετασχηματίζοντας πρώτα τη σφαιρική επιφάνεια σ' έναν εφαιπτόμενο ή τέμνοντα κύλινδρο. Σε όλες τις περιπτώσεις οι γραμμές



Εικόνα 6. Κωνικά μοτίβα παραμόρφωσης (Α) το μοτίβο όταν ο κώνος εφάπτεται στη σφαίρα σε ένα μικρό κύκλο. (Β) το μοτίβο όταν ο κώνος τέμνει τη σφαίρα κατά μήκος δύο μικρών κύκλων. Οι μικροί κύκλοι μπορεί να είναι γεωγραφικοί παράλληλοι ή όχι. Οι σταθερές γραμμές όπου $SK=1.0$, είναι με κυανό χρώμα.



Εικόνα 7. Κυλινδρικά μοτίβα παραμόρφωσης (Α) το μοτίβο όταν ο κύλινδρος εφάπτεται στη σφαίρα σε ένα μέγιστο κύκλο, που έχει ως αποτέλεσμα μία βασική γραμμή και (Β) το μοτίβο όταν ο κύλινδρος τέμνει τη σφαίρα κατά μήκος δύο μικρών κύκλων και οι βασικές γραμμές είναι δύο παράλληλοι μικροί κύκλοι. Ο εφαιπτόμενος μέγιστος κύκλος ή οι παράλληλοι μικροί κύκλοι, που απεικονίζονται με κυανό χρώμα, δεν χρειάζεται να είναι μεσημβρινοί ή γεωγραφικοί παράλληλοι.

ίσης παραμόρφωσης είναι ευθείες γραμμές παράλληλες στις βασικές γραμμές. Η παραμόρφωση θα αυξάνεται μακριά από τις βασικές γραμμές (**Εικόνα 7**).

* Επιμέλεια κειμένου: Υποπυραγός Μαλούνης Αλέξανδρος

Το υλικό του άρθρου προέρχεται από την επιμέλεια και τροποποίηση κειμένων που βρίσκονται στα παρακάτω βιβλία:

1. A.H Robinson, J.L. Morrison, P.C. Muehrcke, A. Jon Kimerling, & S.C. Guptill. (1995). *Elements of Cartography*, John Wiley & Sons, Inc, New York.

2. Ανώνυμος. (1988). *Ανάγνωση Χάρτη – Αεροφωτογραφιών (ΣΚ)*, Τυπογραφείο Ελληνικού Στρατού, Αθήνα.