

Στοιχεία Μετεωρολογίας



1. Σύσταση της Ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα είναι ένα μίγμα αερίων που συγκρατούνται κοντά στη Γη λόγω της βαρύτητας. Η ατμόσφαιρα μας παρέχει το οξυγόνο και τις κατάλληλες θερμοκρασιακές συνθήκες που είναι απαραίτητα στοιχεία για τη ζωή, ενώ από τη άλλη πλευρά μας επιτρέπει να επικοινωνούμε με τους ήχους ή να ταξιδεύουμε με αεροπλάνα.

Η ατμόσφαιρα είναι κατά μέσο όρο ομοιογενής μέχρι το ύψος των 80-100Km από την επιφάνεια της Γης (Ομοιόσφαιρα) εξαιτίας σημαντικής κατακόρυφης ανάμειξης. Εξαιρεση αποτελεί η περιεκτικότητα της σε υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα και όζον.

Συστατικό Στοιχείο	Περιεκτικότητα σε κλάσμα συνολικών μορίων
Άζωτο (N_2)	0.7808 (75.51% της συνολικής μάζας)
Οξυγόνο (O_2)	0.2095 (23.14% της συνολικής μάζας)
Αργό (Ar)	0.0093 (1.28% της συνολικής μάζας)
Υδρατμοί (H_2O)	0-0.04
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)	325 τμήματα ανά εκατομμύριο
Νέον (Ne)	18 τμήματα ανά εκατομμύριο
Ήλιον (He)	5 τμήματα ανά εκατομμύριο
Κρυπτόν (Kr)	1 τμήμα ανά εκατομμύριο
Υδρογόνο(H)	0.5 τμήματα ανά εκατομμύριο
Όζον (O_3)	0-12 τμήματα ανά εκατομμύριο

Σύνθεση της ατμόσφαιρας της γης κάτω από τα 100 km

Επίσης, η ατμόσφαιρα περιέχει μη αέρια συστατικά (σωματίδια) όπως σκόνη, καπνό, άλατα και συμπυκνωμένους υδρατμούς (σταγόνες) σε συγκεντρώσεις που ποικίλουν σημαντικά. Η πυκνότητα του αέρα μειώνεται γρήγορα με το ύψος από την επιφάνεια της Γης σαν αποτέλεσμα της επίδρασης της βαρύτητας. Ουσιαστικά, το 99% της συνολικής μάζας της ατμόσφαιρας περιέχεται μέχρι το ύψος των 40Km από την επιφάνεια της Γης, ενώ όλοι οι υδρατμοί περιέχονται στα πρώτα 15km.

Η σύσταση της ατμόσφαιρας δεν είναι χρονικά σταθερή αλλά βρίσκεται σε μία δυναμική κατάσταση εξαιτίας της βιολογικής και γεωλογικής αλληλεπίδρασης με τη Γη και χημικών αντιδράσεων μεταξύ των συστατικών της. Είναι γενικά αποδεκτό σύμφωνα με τις μετρήσεις των τελευταίων τριάντα ετών ότι η μέση ατμοσφαιρική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα αυξάνει με σημαντικό ρυθμό ενώ η συγκέντρωση του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα στο στρώμα των 15 με 40km από την επιφάνεια της Γης μειώνεται. Αυτές οι μεταβολές οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (έκλυση σε σημαντικές ποσότητες διάφορων αερίων). Αν συνεχιστούν θα έχουν σημαντική συνέπεια στη λεπτή χημική ισορροπία που επικρατεί στην ατμόσφαιρα και, επομένως, στις θερμοκρασιακές συνθήκες στη Γη (φαινόμενο θερμοκηπίου-αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και 'τρύπα' του όζοντος-αύξηση της επικίνδυνης υπεριώδους ακτινοβολίας του Ήλιου που φτάνει στην επιφάνεια της Γης). Για αυτό το λόγο γίνονται προσπάθειες παγκοσμίως για τον περιορισμό των δραστηριοτήτων που προκαλούν αυτές τις μεταβολές.

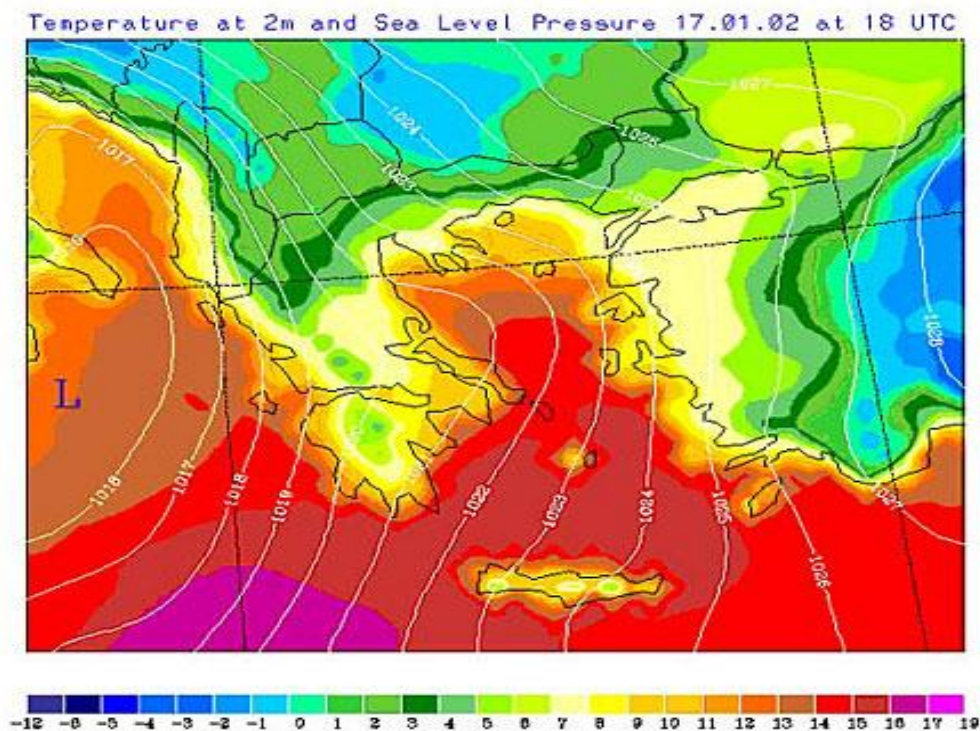
Είναι σημαντικό να αντιληφθούμε ότι η ατμόσφαιρα δεν είναι μια απομονωμένη οντότητα αλλά αποτελεί τμήμα ενός συζευγμένου συστήματος που περιλαμβάνει ακόμα την υδρόσφαιρα (συνολική υδάτινη μάζα στην επιφάνεια της γης η πάνω από αυτή), τη βιόσφαιρα (ζωτικοί και φυτικοί οργανισμοί) και το ιζηματογενές τμήμα της λιθόσφαιρας (εξωτερικός φλοιός της γης). Σημαντικό τμήμα του συζευγμένου αυτού συστήματος για την ύπαρξη ζωής είναι η υδρόσφαιρα. Τα υπάρχοντα σήμερα συστατικά στοιχεία της υδρόσφαιρας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Συστατικό Στοιχείο	Ποσοστό Μάζας Υδρόσφαιρας
Ωκεανοί	97 %
Πάγος	2.4 %
Υπόγειο γλυκό νερό	0.6 %
Γλυκό νερό σε λίμνες, ποτάμια κλπ	0.02 %
Ατμόσφαιρα	0.001 %

Η υδρόσφαιρα. Η συνολική της μάζα πάνω από την επιφάνεια της γης είναι $1.36 \times 10^{21} \text{kg}$

2. Ατμοσφαιρική Πίεση

Η ατμοσφαιρική πίεση, για την ακρίβεια βαρομετρική πίεση σε ένα σημείο της ατμόσφαιρας οφείλεται απλά στο βάρος του υπερκείμενου αέρα ανά μονάδα επιφάνειας και εκφράζεται σε mb (millibar) ή ισοδύναμα σε hPa (hectoPascal) που αντιστοιχεί σε βάρος αέρα 10kgf που ασκείται πάνω σε επιφάνεια 1m². Η πίεση αυτή εξασκείται προς όλες τις διευθύνσεις σε κάθε σημείο και όχι μόνο στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η ατμοσφαιρική πίεση εξαρτάται από την πυκνότητα του υπερκείμενου αέρα η οποία μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Τυπική τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (μηδενικό υψόμετρο) είναι 1013hPa και η περιοχή τιμών που έχουν παρατηρηθεί είναι 870 με 1085hPa. Η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται γρήγορα με το ύψος με τυπικές τιμές 900hPa στο 1km, 500hPa στα 5.5km και 200hPa στα 12km.



Οι οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, δηλαδή η ύπαρξη περιοχών με χαμηλή ή υψηλή πίεση σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές, προκαλούνται από την ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης, και επομένως και του αέρα που βρίσκεται κοντά σε αυτή, από τον Ήλιο λόγω της κατανομής ξηράς και θάλασσας. Αυτές οι χωρικές μεταβολές έχουν σαν συνέπεια την κίνηση του αέρα (άνεμος). Η μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης στο οριζόντιο επίπεδο αντιστοιχεί στη δύναμη βαροβαθμίδας που είναι από τις σημαντικότερες δυνάμεις που διέπουν την κίνηση του αέρα. Τα 'κέντρα' χαμηλής ή υψηλής πίεσης είναι γνωστά σαν χαμηλά και υψηλά βαρομετρικά, αντίστοιχα, και η μετακίνησή τους είναι συνδεδεμένη άμεσα με τις μεταβολές του καιρού σε ένα τόπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι οριζόντιες

μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι πολύ μικρότερες από τις κατακόρυφες όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Η Εικόνα δείχνει ένα μετεωρολογικό χάρτη 'επιφανείας'. Οι καμπύλες (ισοβαρείς) συνδέουν σημεία ίδιας βαρομετρικής πίεσης ανοιγμένης σε κανονικές συνθήκες (επιφανειακή πίεση), ώστε να είναι συγκρίσιμες οι μετρήσεις στα διάφορα σημεία (δηλαδή να εξαλειφθεί η επίδραση του υψομέτρου).

Κανονικές συνθήκες θεωρούνται μηδενικό υψόμετρο (μέσο επίπεδο επιφάνειας της θάλασσας), η βαρύτητα σε γεωγραφικό πλάτος 45° και θερμοκρασία αέρα 0°C .

Ακόμα μικρότερες μεταβολές (λιγότερο από 5hPa) της ατμοσφαιρικής πίεσης από αυτές που προκαλούν τα συστήματα καιρού είναι οι χρονικές μεταβολές στο χρονικό διάστημα μιας ημέρας οι οποίες είναι σχεδόν περιοδικές. Μία από αυτές, που έχει περίοδο μισής ημέρας (12 ώρες), είναι ανάλογη με τις παλίρροιες στη θάλασσα και οφείλεται στην βαρυτική επίδραση του Ήλιου στην ατμόσφαιρα. Η επόμενη σημαντική ημερήσια μεταβολή έχει περίοδο μιας ημέρας (24 ώρες) και οφείλεται στη διαφορετική θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον Ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας..

Οι μεταβολές της πίεσης είναι ενδεικτικές των καιρικών αλλαγών. Πτώση της πίεσης συμβαίνει όταν ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων πλησιάζει. Από την άλλη μεριά, υψηλές πιέσεις είναι συνήθως ενδεικτικές καλού καιρού. Συνεπώς, οι μετεωρολόγοι ενδιαφέρονται πολύ για τις μεταβολές της πίεσης καθώς και για τη χωρική της κατανομή η οποία τους επιτρέπει να αναγνωρίσουν τη θέση των βαρομετρικών συστημάτων υψηλών και χαμηλών πιέσεων.

3. Θερμοκρασία του Αέρα - Κατακόρυφη Δομή της Ατμόσφαιρας

Η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της πυκνότητας ενός είδους ενέργειας που ονομάζεται αισθητή θερμότητα και με τη σειρά της είναι ένα μέτρο της έντασης της σχετικής κίνησης των μορίων ενός σώματος. Έχει αυτό το όνομα γιατί γίνεται άμεσα αισθητή με την επαφή από τον άνθρωπο ή ένα θερμόμετρο (πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα σώμα). Η αισθητή θερμότητα είναι ένα μέτρο της έντασης της σχετικής κίνησης των μορίων του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει (ο αέρας στην περίπτωση μας). Η αισθητή θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί - και επομένως να μεταβληθεί η θερμοκρασία του αέρα - με αγωγή (δηλαδή με επαφή), όπως μέσα από το τζάμι ενός παραθύρου, με ακτινοβολία, όπως είναι το φως του ήλιου ή η υπέρυθη ακτινοβολία του εδάφους, με οριζόντια μεταφορά από τον άνεμο, όπως η θαλάσσια αύρα που δροσίζει μία παράκτια περιοχή, και με κατακόρυφη μεταφορά, όπως ο καπνός που ανεβαίνει από μία φωτιά. Η πηγή της αισθητής θερμότητας στην ατμόσφαιρα είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η πιο γνωστή κλίμακα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι η κλίμακα Celsius ($^\circ\text{C}$). Άλλες κλίμακες μέτρησης της θερμοκρασίας είναι η κλίμακα Kelvin $^\circ\text{K}$ και η κλίμακα Fahrenheit ($^\circ\text{F}$). Η κλίμακα Kelvin προκύπτει από τη κλίμακα Celsius αν προστεθούν περίπου 273 βαθμοί (η θερμοκρασία 0°K ή -273°C ονομάζεται απόλυτο μηδέν και

αντιστοιχεί σε ακινησία των μορίων του σώματος). Η κλίμακα Fahrenheit χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ και προκύπτει από τη κλίμακα Celsius αν αυτή πολλαπλασιαστεί με 1.8 και προστεθούν 32 βαθμοί.

Η θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (τυπικά στο ύψος των 2m) παρουσιάζει μεταβολές κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά τη διάρκεια του έτους και από τόπο σε τόπο. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν αυτές τις μεταβολές είναι:

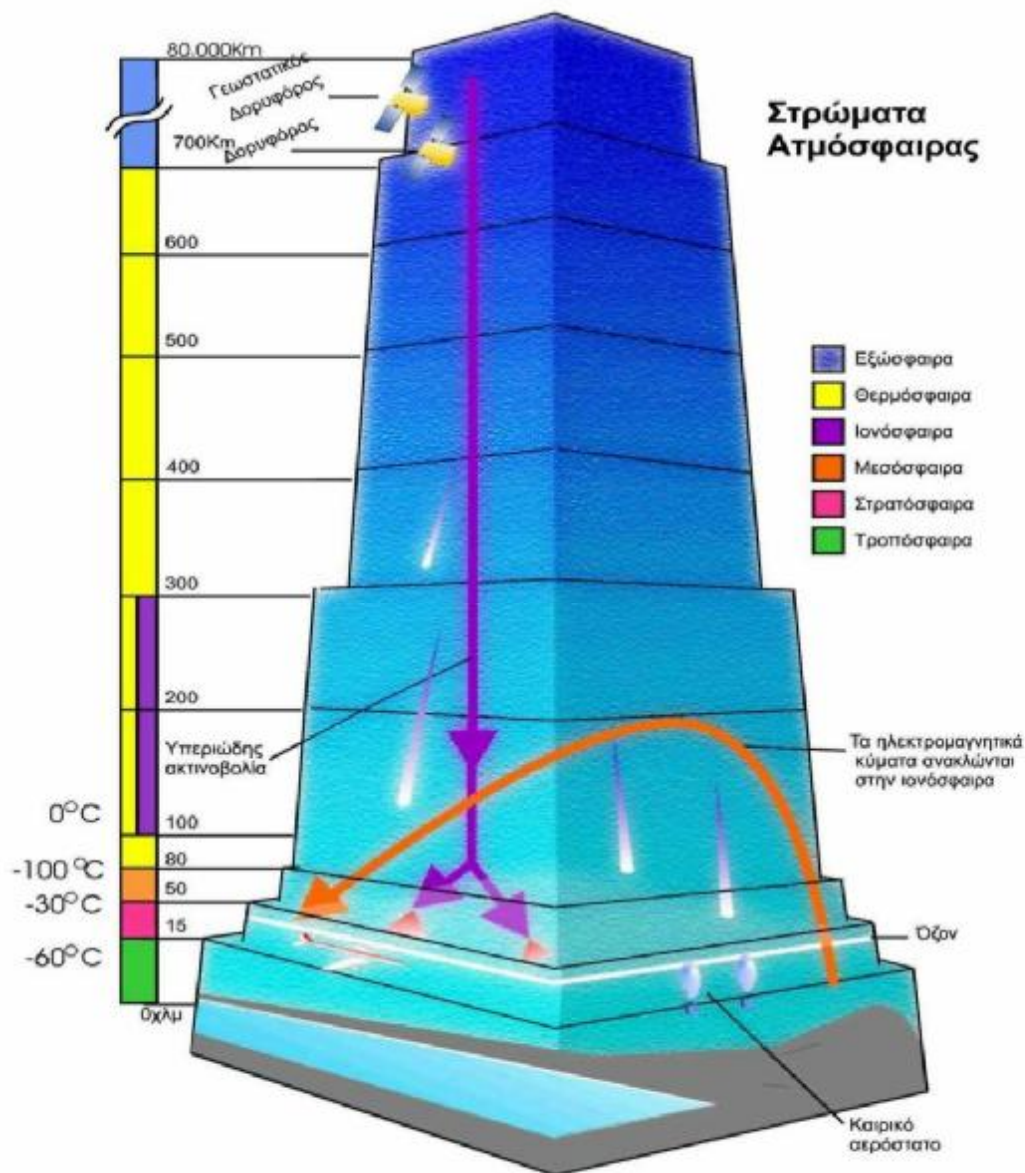
- το υψόμετρο του τόπου,
- η μεταφορά της θερμότητας από τον άνεμο,
- η απόσταση από τη θάλασσα,
- ο προσανατολισμός του εδάφους ως προς τον Ήλιο, που με τη σειρά του εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την ημέρα του έτους, την ώρα της ημέρας και το ανάγλυφο του εδάφους,
- η πιθανή κάλυψη του ουρανού από σύννεφα ,
- η υγρασία του εδάφους,
- η κάλυψη του από βλάστηση, νερό ή χιόνι,
- ο βαθμός αστικοποίησης της περιοχής.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες επιδρούν σημαντικά στην ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ εδάφους και αέρα.

Η θερμοκρασία του αέρα δεν μειώνεται συνεχώς με το ύψος όπως συμβαίνει με την ατμοσφαιρική πίεση. Η εξάρτηση των διάφορων τρόπων μεταφοράς της θερμότητας από τη σύσταση της ατμόσφαιρας έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία στρωμάτων στην ατμόσφαιρα που το καθένα έχει διαφορετική κατακόρυφη βαθμίδα θερμοκρασίας δηλαδή ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας με το ύψος. Τα σημαντικότερα για τη Μετεωρολογία στρώματα της ατμόσφαιρας είναι η τροπόσφαιρα και η στρατόσφαιρα.

Η τροπόσφαιρα βρίσκεται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια της Γης, περιέχει το 75% της ατμοσφαιρικής μάζας. Σε αυτό το στρώμα η θερμοκρασία μειώνεται κατά μέσο όρο 6.5°C ανά χιλιόμετρο, περιέχεται σχεδόν όλη η μάζα των υδρατμών της ατμόσφαιρας, η κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας είναι σημαντική και εξελίσσονται τα καιρικά φαινόμενα και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Το τμήμα της τροπόσφαιρας που βρίσκεται κοντύτερα στο έδαφος (μέχρι το ύψος των 1-2km) ονομάζεται ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Σε αυτό το στρώμα, η ανάμειξη του αέρα λόγω της κατακόρυφης μεταφοράς θερμότητας και της τριβής με το έδαφος είναι σημαντική και οι ημερήσιες μεταβολές της κατακόρυφης δομής του είναι έντονες. Η ημερήσια θέρμανση του εδάφους από την ηλιακή ακτινοβολία ή η νυκτερινή ψύξη του λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας του έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει συνήθως όταν ο καιρός είναι αίθριος, μία μείωση ή αύξηση (αναστροφή) της θερμοκρασίας με το ύψος κοντά στο έδαφος, αντίστοιχα, αφού η άμεση απορρόφηση ακτινοβολίας από τον αέρα είναι σχετικά μικρή. Η κορυφή της τροπόσφαιρας (περίπου σε ύψος 12km στα μέσα γεωγραφικά πλάτη) όπου η θερμοκρασία αυξάνεται ή μένει σταθερή με το ύψος ονομάζεται τροπόπαυση. Η τροπόπαυση αποτελεί ουσιαστικά ένα καπάκι που απομονώνει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα.

Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από την τροπόπαυση μέχρι το ύψος των 50km περίπου. Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτού του στρώματος είναι ότι περιέχει το σημαντικό αέριο όζον (O_3). Αυτό το αέριο αν και περιέχεται σε πολύ μικρές ποσότητες (με μέγιστο συγκέντρωσης στο ύψος των 25km) είναι σημαντικό για την ζωή στη Γη, επειδή έχει τη σημαντική ιδιότητα να απορροφά σε μεγάλο ποσοστό την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία που περιέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον έχει σαν συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας με το ύψος στην στρατόσφαιρα. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της στρατόσφαιρας είναι ότι οι περισσότεροι μετεωρίτες που συλλαμβάνονται από τη βαρύτητα της Γης καίγονται ολοκληρωτικά σε αυτό το στρώμα πριν φτάσουν στην επιφάνεια της.



4. Υγρασία-Σύννεφα- Κατακρημνίσματα

α. Υγρασία

Το νερό υπάρχει στην ατμόσφαιρα και στις τρεις φάσεις του: υδρατμοί (αέρια φάση), σταγόνες (υγρή φάση) και χιόνι (πάγος, στερεά φάση). Η ενέργεια που απαιτείται ή εκλύεται κατά τη μετατροπή του νερού από τη μία φάση στην επόμενη είναι αρκετά σημαντική και ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα. Για παράδειγμα, η ενέργεια που απαιτείται για τη μετατροπή του νερού από υγρό σε αέριο (εξάτμιση) είναι έξι φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για να θερμάνουμε το νερό από τους 0 στους 100°C. Το μέγεθος των ενεργειακών ποσών που εκλύονται ή απορροφώνται στις αλλαγές φάσης του νερού είναι ένας από τους κύριους λόγους που το νερό είναι το σημαντικότερο στοιχείο της σύστασης της ατμόσφαιρας έστω κι αν αποτελεί ελάχιστο μέρος της μάζας της (μόνο το 0.3-0.4% της μάζας της τροπόσφαιρας). Το συνολικό νερό που περιέχεται κάθε στιγμή στην ατμόσφαιρα αρκεί για να καλύψει την επιφάνεια της Γης με ένα στρώμα νερού πάχους 2.5cm περίπου.

Η υγρασία του αέρα (περιεκτικότητα σε υδρατμούς) εκφράζεται με διάφορους τρόπους. Πρέπει να σημειώσουμε πρώτα ότι μία δεδομένη μάζα αέρα μπορεί να περιέχει μέχρι ένα ορισμένο ποσό μάζας υδρατμών το πολύ, χωρίς να αρχίζει η επιπρόσθετη μάζα υδρατμών να συμπυκνώνεται σε σταγόνες. Το όριο αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα (αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία ή μειώνεται η πίεση του αέρα) ονομάζεται σημείο κόρου και το φαινόμενο κορεσμός. Για παράδειγμα, αυτό το φαινόμενο συμβαίνει όταν συμπυκνώνονται υδρατμοί στον καθρέπτη του μπάνιου όταν τρέξει ζεστό νερό από το ντους. Οι πιο σημαντικές εκφράσεις της υγρασίας του αέρα είναι:

- η απόλυτη υγρασία που είναι η μάζα των υδρατμών που περιέχεται σε ένα δεδομένο όγκο αέρα (δηλαδή η πυκνότητα των υδρατμών, μονάδες g/m³),
- η αναλογία μίγματος των υδρατμών που είναι η μάζα των υδρατμών σε γραμμάρια που περιέχεται σε 1kg μάζας (μονάδες g/kg).
- η σχετική υγρασία που είναι ο λόγος (επί τοις εκατό, %) της μάζας των υδρατμών που περιέχεται σε ένα δεδομένο όγκο αέρα προς τη μάζα που θα έπρεπε να περιείχε ο ίδιος όγκος αέρα για να ήταν κορεσμένος από υδρατμούς,
- η θερμοκρασία δρόσου που είναι η θερμοκρασία που θα πρέπει να ψυχθεί ο αέρας υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση ώστε να καταστεί κορεσμένος χωρίς την προσθήκη άλλων υδρατμών.

Από αυτές τις εκφράσεις της υγρασίας η πιο γνωστή είναι η σχετική υγρασία γιατί είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο τους ανθρώπους. Όμως, η πιο αντιπροσωπευτική έκφραση είναι η αναλογία μίγματος γιατί εκφράζει ακριβώς τη μάζα των υδρατμών που περιέχει ορισμένη μάζα αέρα και δεν εξαρτάται από άλλες παραμέτρους όπως η ατμοσφαιρική πίεση και η θερμοκρασία.

Η υγρασία του αέρα είναι ένα ευμετάβλητο μέγεθος τόσο χρονικά όσο και χωρικά σύμφωνα με το ισοζύγιο υγρασίας των διαφόρων συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου. Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η υγρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης (δηλαδή στο τυπικό ύψος μέτρησης των 2m) είναι:

- το γεωγραφικό πλάτος,
- η προσέγγιση στη θάλασσα,
- το υψόμετρο,
- η εποχή, η ώρα της ημέρας (μεταφορά της υγρασίας με τον άνεμο, συμπύκνωση λόγω χαμηλής θερμοκρασίας, εξάτμιση λόγω θέρμανσης υγρών επιφανειών από την ηλιακή ακτινοβολία) και
- η αστικοποίηση της περιοχής ...

... σαν συνέπεια της μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του τόπου ή της δυνατότητας προσθήκης υγρασίας που συνεπάγεται κάθε ένας από αυτούς τους παράγοντες. Η υγρασία γενικά μειώνεται γρήγορα με το ύψος καθώς μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα και περιορίζεται η ικανότητα κατακόρυφης ανάμειξης της ατμόσφαιρας.

Ο Υδρολογικός κύκλος

Η μάζα της υδρόσφαιρας είναι σχεδόν σταθερή σε όλες τις μετεωρολογικές χρονικές κλίμακες, εκτός ίσως από εκείνες που σχετίζονται με πολύ αργές κλιματικές αλλαγές. Όμως, μέσα στην υδρόσφαιρα γίνεται μια πολύ πιο γρήγορη ανταλλαγή καθώς το νερό κινείται στον υδρολογικό κύκλο (Σχήμα).



Διάγραμμα των σημαντικότερων διαδικασιών που περιλαμβάνονται στον υδρολογικό κύκλο

Ο υδρολογικός κύκλος ξεκινάει με την εξάτμιση του νερού από τους ωκεανούς, τις λίμνες και τις υγρές επιφάνειες στην ξηρά. Η μετατροπή του υγρού νερού σε υδρατμούς διατηρείται είτε μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και θέρμανσης όταν υγρές επιφάνειες ξηραίνονται κάτω από τη δυνατή ηλιακή ακτινοβολία, είτε από τους ανέμους. Το νερό επίσης εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα μέσω της διαπνοής από τα φύλλα και τον κορμό των φυτών, όταν οι πόροι είναι ανοιχτοί για το πέρασμα O_2 και CO_2 κατά τη φωτοσύνθεση. Τα φυτά απορροφούν νερό από το υπέδαφος μέσω των ριζών τους, έτσι ώστε να μεταφέρουν θρεπτικά συστατικά στα φύλλα τους, και αυτό το νερό μπορεί να βρίσκεται βαθιά στο έδαφος. Το 10% του ολικού εξατμιζόμενου νερού οφείλεται στη διαπνοή. Ο όγκος του νερού που χάνεται μέσω της διαπνοής μπορεί να είναι μεγάλος. Για παράδειγμα, έχει εκτιμηθεί ότι κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών, ένα στρέμμα σιτηρών διαπνέει περίπου 1500 κυβικά μέτρα νερό.

Ο υγρός αέρας ανυψώνεται στην τροπόσφαιρα, ψύχεται και τελικά οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και σχηματίζουν νέφη. Οι επικρατούντες άνεμοι μεταφέρουν την υγρασία είτε σε μορφή υδρατμών ή νεφών σε διάφορες αποστάσεις γύρω από τη γη, αλλά τελικά το νερό επιστρέφει στην επιφάνεια σαν υετός. Ο υετός μπορεί να έχει διάφορες μορφές, όπως βροχή, χιόνι, χαλάζι κτλ. Παγκοσμίως πέφτει ετησίως περίπου 1 μέτρο ισοδύναμης βροχόπτωσης, η περισσότερη από την οποία είναι στη μορφή της βροχής.

Όταν το νερό φτάσει στο έδαφος, μπορεί να εξατμιστεί ή να εισχωρήσει στο έδαφος και να ενσωματωθεί στα υπόγεια ύδατα ή να διαρρέψει στους ωκεανούς μέσω της γήινης επιφάνειας με τη μορφή ποταμών, λιμνών ή ρευμάτων. Ακόμα και τα υπόγεια ύδατα εν μέρει διαρρέουν στους ωκεανούς, στα ποτάμια ή τα ρεύματα. Σε κάθε περίπτωση τελικά το νερό είτε θα εξατμιστεί ή θα διαπνεύσει πίσω στην ατμόσφαιρα, όπου ο κύκλος ξεκινάει πάλι.

Σαν συμπέρασμα, το νερό σε όλες τις μορφές είναι αναγκαίο για την ύπαρξη ζωής και ο κύκλος του επηρεάζει σημαντικά τις δραστηριότητές μας. Το νερό είναι σημαντικό για τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, αλλά επίσης μπορεί να γίνει θανάσιμο μέσω της επίδρασής στα καιρικά φαινόμενα σε όλες τις κλίμακες. Πρέπει να θυμόμαστε ότι μερικοί αρχαίοι πολιτισμοί όφειλαν την άνθησή τους στα γειτονικά ποτάμια (π.χ. Αίγυπτος, Βαβυλώνα), αλλά από την άλλη μεριά πολλές πόλεις της Κεντρικής Ευρώπης υπέφεραν από σημαντικές οικονομικές καταστροφές κατά τη διάρκεια των πλημμύρων του 2002. Επομένως, η σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων και η ύπαρξη προστατευτικών μέτρων ενάντια στις πλημμύρες είναι αναγκαία για τη βέλτιστη χρήση του κύκλου του νερού.

β. Σύννεφα

Τα σύννεφα είναι η δυναμική εκδήλωση φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και αποτελούνται από μικροσκοπικά σωματίδια πάγου ή σταγόνες νερού, τόσο μικρά και ελαφρά ώστε ακόμα και η τυχαία κίνηση των μορίων του αέρα τα εμποδίζει να πέσουν στο έδαφος. Αυτά τα σωματίδια προκαλούνται από τη συμπύκνωση των υδρατμών λόγω ψύξης του αέρα. Η ψύξη μιας αέριας μάζας μπορεί να προκληθεί λόγω ανάμειξης με ψυχρότερο αέρα, ακτινοβολίας του εδάφους τις νυκτερινές ώρες, ροής πάνω ψυχρό έδαφος ή ανοδικής κίνησης της αέριας μάζας. Η τελευταία αιτία είναι η πιο συνηθισμένη και είναι ο μόνος τρόπος για να προκληθεί βροχή (οι άλλες αιτίες έχουν σαν αποτέλεσμα την ομίχλη). Η άνοδος μιας αέριας μάζας σημαίνει εκτόνωση της (δηλαδή διαστολή) επειδή η πίεση μειώνεται με το ύψος, όπως διαστέλλεται ένα μπαλόνι που περιέχει αέριο ήλιο και αφήνεται ελεύθερο να ανέβει στην ατμόσφαιρα. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η εκτόνωση καταναλώνεται ενέργεια μειώνοντας τελικά τη θερμοκρασία της αέριας μάζας (δηλαδή τη θερμική της ενέργεια). Το αντίθετο συμβαίνει όταν η αέρια μάζα κατεβαίνει για οποιοδήποτε λόγο και, επομένως, συμπιέζεται. Όταν η αέρια μάζα που ανεβαίνει φτάσει στο σημείο κορεσμού (αυτό απαιτεί να έχει ήδη σημαντική περιεκτικότητα σε υδρατμούς), σχηματίζονται μικροσκοπικές σταγόνες πάνω στα στερεά σωματίδια (όπως σκόνη, καπνός ή άλατα) που περιέχονται έστω και σε πολύ μικρές ποσότητες στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα σωματίδια αποτελούν πυρήνες συμπύκνωσης και αν δεν υπήρχαν στην ατμόσφαιρα θα χρειαζόταν στην πραγματικότητα πολύ μεγαλύτερη υγρασία από ότι στο θεωρητικό σημείο κόρου για να σχηματιστούν σταγόνες. Τα κύρια είδη ανόδου, καθένα εκ των οποίων δημιουργεί ξεχωριστές μορφές νεφών, είναι :

- Τοπική άνοδος των θερμών σωματιδίων αέρα σε ασταθές περιβάλλον που δημιουργεί νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Τα νέφη αυτά έχουν διάμετρο που κυμαίνεται από 0.1 έως 10 km και ο αέρας ανεβαίνει εντός αυτών με κατακόρυφες ταχύτητες της τάξης των λίγων μέτρων ανά δευτερόλεπτο, παρόλο που σε συστήματα νεφών μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης μπορούν να σημειωθούν ταχύτητες ανοδικών αέριων ρευμάτων αρκετών δεκάδων μέτρων ανά δευτερόλεπτο. Η διάρκεια ζωής των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης κυμαίνεται από λεπτά μέχρι ώρες.
- Βίαιη ανύψωση σταθερού αέρα που δημιουργεί στρωματόμορφα νέφη. Τα νέφη αυτά μπορούν να δημιουργηθούν σε ύψη από το επίπεδο εδάφους ως την τροπόπαυση και να επεκταθούν σε περιοχές εκατοντάδων χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Ο βαθμός ανύψωσης κυμαίνεται από μερικά εκατοστά ανά δευτερόλεπτο ως περίπου 10 cm s⁻¹. Τα στρωματόμορφα νέφη υφίστανται συνήθως για περίοδο δεκάδων ωρών.
- Η βίαιη ανύψωση αέρα καθώς περνά πάνω από λόφους ή όρη δημιουργεί ορεογραφικά νέφη. Οι ταχύτητες των ανοδικών ρευμάτων που προκύπτουν εξαρτώνται στην ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου και το ύψος του εμποδίου, αλλά μπορούν να είναι αρκετά μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Τα ορεογραφικά νέφη ενδέχεται να είναι πολύ πρόσκαιρα αλλά σε σταθερούς ανέμους μπορούν να υφίστανται για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Αν η ατμόσφαιρα ήταν άψογα καθαρή, θα ήταν αδύνατον να δημιουργηθούν νέφη καθώς η σχετική υγρασία θα ανερχόταν σε ποσοστό αρκετών εκατοντάδων! Το κλασσικό πρόβλημα της φυσικής νεφών είναι να εξηγήσει γιατί τα σταγονίδια νεφών σύμφωνα με τις παρατηρήσεις σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα όταν ο ανοδικός αέρας μόλις που υπερβαίνει τον κορεσμό. Η απάντηση είναι ότι η ατμόσφαιρα περιέχει σημαντικές συγκεντρώσεις σωματιδίων μεγέθους μικρόμετρου και υπομικρόμετρου που έχουν συγγένεια με το νερό και χρησιμεύουν ως κέντρα συμπίκνωσης. Τα σωματίδια αυτά λέγονται Πυρήνες Συμπύκνωσης Νεφών (Cloud Condensation Nuclei/ CCN) και η διεργασία κατά την οποία τα υδροσταγονίδια σχηματίζονται πάνω στους CCN λέγεται ετερογενής πυρηνοποίηση.

Είδη Νεφών

Η πρώτη δημοσιευμένη κατάταξη νεφών έγινε από το Γάλλο νατουραλιστή Lamarck το 1802 και προσδιόριζε έναν περιορισμένο αριθμό σχημάτων νεφών που παρουσίαζαν ενδιαφέρον προσδίνοντας τους και ονομασίες (στα γαλλικά). Παρότι ποτέ δεν υιοθετήθηκαν οι ονομασίες του Lamarck, η μέθοδος που χρησιμοποίησε για τον διαχωρισμό των περιοχών όπου τα νέφη σχηματίζονται σε τρία στρώματα εφαρμόζεται με τροποποιημένη μορφή στη σύγχρονη διεθνή κατάταξη των νεφών ("International Cloud Atlas," World Meteorological Organization, 1956). Βάση για τη διεθνή κατάταξη των νεφών αποτέλεσε το σύστημα που πρότεινε ο Άγγλος μετεωρολόγος Howard το 1803, ο οποίος χρησιμοποίησε 4 λατινικούς όρους: cumulus (σωρός) για νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης, stratus (στρώμα) στρωματικά νέφη, cirrus (ίνα) για ινώδη νέφη και nimbus για βροχοφόρα νέφη, μαζί με τα σύνθετά τους (για παράδειγμα, cirrocumulus, cirrostratus). Στη διεθνή κατάταξη, ο όρος «nimbus», ή «nimbo», χρησιμοποιείται μόνο ως συνθετικό για να προσδιορίσει τα υετοφόρα νέφη (για παράδειγμα, nimbostratus, cumulonimbus). Επιπλέον, ένας πέμπτος λατινικός όρος, «altum», χρησιμοποιείται για το ύψος. Τα πέντε αυτά λατινικά λήμματα χρησιμοποιούνται είτε ξεχωριστά ή σε συνδυασμό για να προσδιορίσουν 10 είδη νεφών που είναι αμοιβαία αποκλειόμενα (δηλ η ύπαρξη του ενός αποκλείει τα άλλα). Τα είδη αυτά έχουν ταξινομηθεί σε τρεις ομάδες, ανάλογα με το κανονικό ύψος της βάσης του νέφους πάνω από το έδαφος.

		Ύψος Βάσης Νέφους		
Είδος	Στρώμα	Πολικές περιοχές	Εύκρατες περιοχές	Τροπικές περιοχές
Cumulus	Χαμηλό	Κάτω των 2 km	Κάτω των 2 km	Κάτω των 2 km
Cumulonimbus				
Stratus				
Stratocumulus				
Nimbostratus	Μεσαίο	2-4 km	2-7 km	2-8 km
Altostratus				
Alto cumulus	Υψηλό	3-8 km	5-13 km	6-18 km
Cirrus				
Cirrostratus				
Cirrocumulus				

Τα κύρια είδη νεφών

Χαμηλά νέφη

Cumulus: (Σωρείτες) Απομονωμένα νέφη, γενικά πυκνά με έντονα περιγράμματα, αναπτυσσόμενα κατακόρυφα με μορφή ανυψούμενων σωρών, θόλων ή πύργων, των οποίων το εξογκούμενο ανώτερο τμήμα μοιάζει συχνά με κουνουπίδι. Η βάση τους είναι σχετικά σκούρα και σχεδόν οριζόντια. Οι σωρείτες υφίστανται σε διάφορα μεγέθη. Η οριζόντια και η κατακόρυφη ανάπτυξη τους είναι μικρότερη από ένα χιλιόμετρο. Ενίοτε, όταν τα σύννεφα έχουν την τάση να σχηματίσουν συμπλέγματα, μπορεί να αυξηθούν σε μέγεθος.

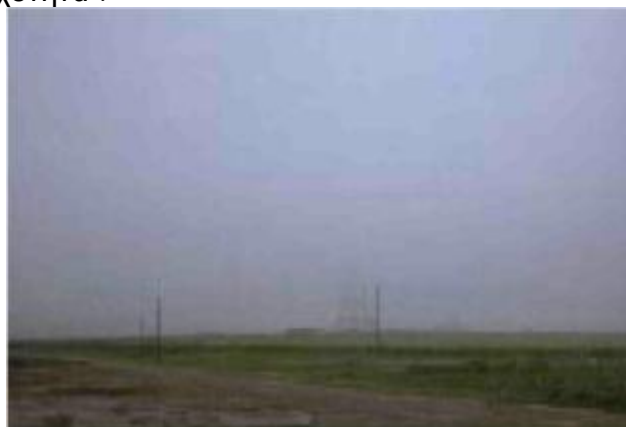


Cumulonimbus: (Σωρειτομελανίες) «Βαριά» και πυκνά νέφη με σημαντική κατακόρυφη ανάπτυξη με μορφή πελώριου πύργου. Πρόκειται για προηγμένο στάδιο των σωρειτών. Το ανώτερο τμήμα των νεφών αυτών συχνά εξαπλώνεται σε σχήμα άκμονα. Η κορυφή του άκμονα στα ψηλότερα νέφη βρίσκεται συνήθως κοντά στο επίπεδο της τροπόπαυσης. Κάτω από τη βάση τους, η οποία είναι συχνά πολύ σκούρα, πολλές φορές υπάρχουν χαμηλά διάσπαρτα σε τμήματα νέφη και υετός με μορφή ουράς (δεν φτάνει στο έδαφος).

Οι σωρειτομελανίες αναγνωρίζονται εύκολα γιατί συνδέονται με όμβρους και καταιγίδες. Επιπλέον, είναι τα μόνα σύννεφα που δημιουργούν χαλάζι, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να είναι πολύ καταστροφικά. Ευτυχώς, συνήθως έχουν μικρή διάρκεια ζωής (γύρω στα 30 λεπτά) .



Stratus: (Στρώματα) Γενικά γκριζο νεφικό στρώμα με ομοιόμορφη βάση, το οποίο μπορεί να επιφέρει ψεκάδες, παγοπρίσματα ή κόκκους χιονιού. Τα στρώματα μερικές φορές έχουν τη μορφή διάσπαρτων τμημάτων. Είναι γενικά δύσκολο να παρατηρήσει κανείς συνολικά αυτό το είδος νέφους από το έδαφος γιατί συχνά η μεγάλη έκτασή του οριζοντίως αποκρύπτει την κορυφή ή τις πλευρές των νεφών. Εντούτοις σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν τα νέφη αυτά είναι διάσπαρτα σε τμήματα, είναι πιο ευδιάκριτα επειδή έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα .



Stratocumulus (Στρωματοσωρείτες): Γκριζο ή υπόλευκο φύλλο ή στρώμα νέφους το οποίο σχεδόν πάντα έχει σκούρα τμήματα, αποτελούμενα από στρογγυλές μάζες, κυλίνδρους κλπ τα οποία δεν είναι ινώδη και τα οποία είναι δυνατόν να είναι ενωμένα ή όχι. Αυτό το είδος νέφους είναι συχνά παρόμοιο με τα στρώματα (stratus) από την άποψη ότι έχει την ίδια μεγάλη έκταση αλλά διαφέρει απ' αυτό καθώς τα τμήματά του είναι ευδιάκριτα. Οι στρωματοσωρείτες μπορεί να καλύπτουν μεγάλες περιοχές της τάξης των 100 km σε οριζόντια κλίμακα και με αυτόν τον τρόπο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή ισορροπία του πλανήτη.

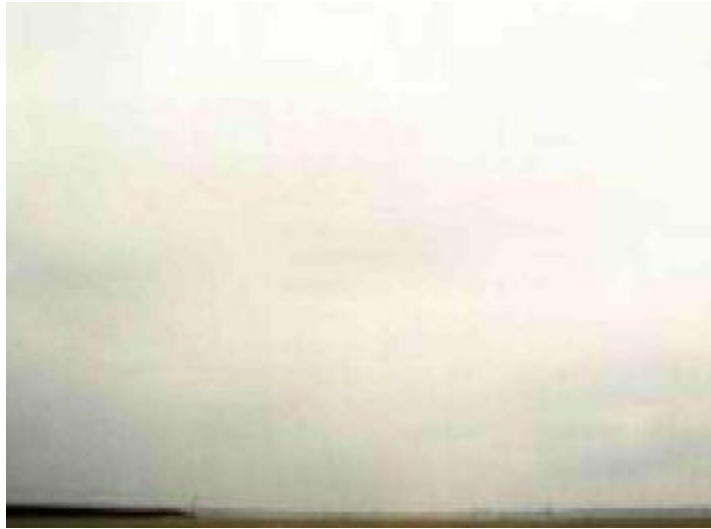


Nimbostratus (Στρωματομελανίες): Γκριζο νεφικό στρώμα, συνήθως σκούρο που καλύπτει το σύνολο του ουρανού, η εμφάνιση του οποίου καθίσταται διάχυτη επειδή λίγο-πολύ πέφτει συνεχής βροχή που στις περισσότερες περιπτώσεις φτάνει στο έδαφος. Είναι αρκετά παχύ ώστε να αποκρύπτει τον Ήλιο. Η περιοχή βροχής είναι εκτεταμένη και περιορίζει την οριζόντια ορατότητα. Επιπλέον, τα νέφη αυτά μπορούν να επιφέρουν χιονόπτωση.



Μεσαία νέφη

Altostratus (Υψιστρώματα): Υπογκρίζα ή υποκύανα νεφικά φύλλα ή στρώματα, ινώδους ή ομοιόμορφης εμφάνισης, που ολικά ή μερικά καλύπτουν τον ουρανό και έχουν αρκετά λεπτά τμήματα, ώστε να αποκαλύπτεται ο ήλιος τουλάχιστον αμυδρά. Η διαφορά τους με τα στρώματα έγκειται στη βάση των νεφών των υψιστρωμάτων που βρίσκεται σε μεσαία ύψη . Το στέμμα, ένα φωτομετέωρο που αποτελείται από έγχρωμους δακτυλίου φωτός σε ακολουθία που το κέντρο τους βρίσκεται στον Ήλιο ή τη Σελήνη συχνά συγχέεται με υψιστρώματα .



Alto cumulus (Υψισωρείτες): Λευκά ή γκριζα νεφικά φύλλα ή στρώματα, γενικά με σκίαση, που αποτελούνται από στρογγυλεμένες μάζες, κυλίνδρους κλπ που ενίοτε είναι μερικώς ινώδη ή διάχυτα και που μπορεί να είναι συγχωνευμένα ή όχι. Οι υψισωρείτες συνήθως είναι πολύ λεπτοί. Εξαιτίας της σύνθεσής τους από εμφανή συστατικά είναι αρκετά ευδιάκριτοι.



Υψηλά νέφη

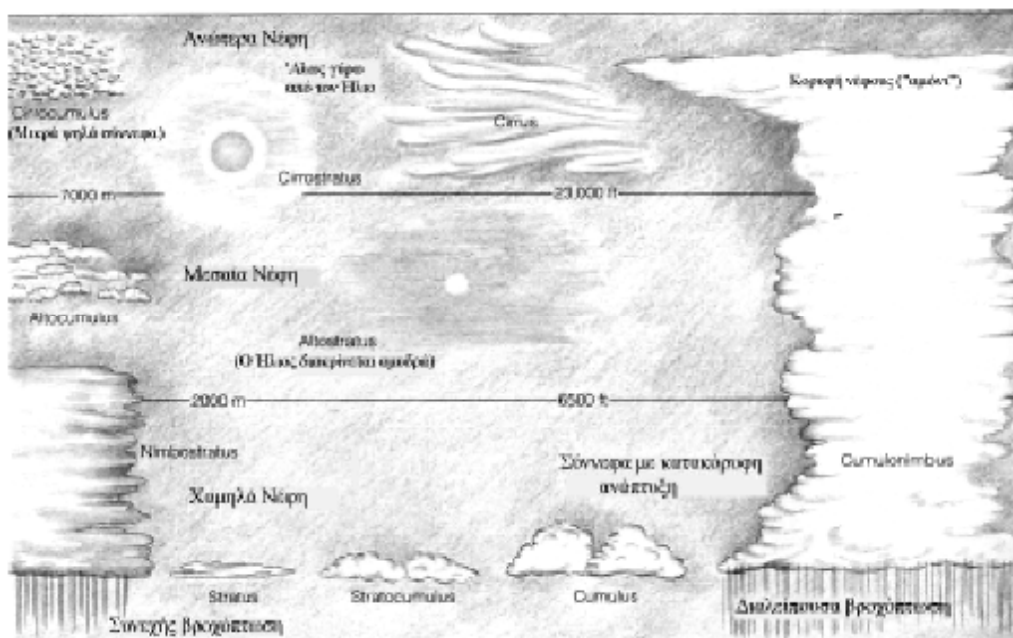
Cirrus (Θύσανοι): Διαχωρισμένα νέφη με τη μορφή λευκών, λεπτών νημάτων ή λευκών ή επί το πλείστον λευκών φύλλων ή στενών ζωνών. Τα νέφη αυτά έχουν ινώδη (σαν κόμη) εμφάνιση ή μετάξινη λάμψη .



Cirrostratus (Θουσανοστρώματα): Διαφανές, υπόλευκο νεφικό πέπλο με ινώδη (σαν κόμη) ή ομοιόμορφη εμφάνιση, που καλύπτει πλήρως ή μερικώς τον ουρανό και γενικά παράγει φαινόμενα άλω. Η άλως είναι ένα φωτοστέφανο που παράγεται από τη διάθλαση του ηλιακού φωτός σε παγοκρυστάλλους της ατμόσφαιρας



Cirrocumulus (Θουσανοσωρείτες): Λεπτά λευκά νεφικά φύλλα ή στρώματα χωρίς σκίαση που αποτελούνται από πολύ μικρά στοιχεία με μορφή κόκκων, κυμάτων κλπ συγχωνευμένα ή ανεξάρτητα και λίγο-πολύ κανονικά διατεταγμένα.



Γραφική απεικόνιση των περισσότερων νεφών

Ορεογραφικά νέφη

Τα ορεογραφικά νέφη μπορούν να σχηματίζονται σε διάφορα υψόμετρα πάνω από λόφους καθώς και σε ψηλά όρη. Η εμφάνισή και το σχήμα τους καθορίζεται από το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας. Πολλά από τα βασικά είδη νεφών μπορούν να εμφανιστούν ή να αναπτυχθούν περαιτέρω ορεογραφικά. Για παράδειγμα, οι οροσειρές είναι γενικά τόποι εκδήλωσης ομίχλης στρωμάτων, στρωματοσωρειτών, σωρειτών και σωρειτομελανίων ενώ οι κοιλάδες μεταξύ των βουνών συχνά ευνοούν την εκδήλωση ομίχλης. Επιπλέον, πολλά νέφη με ορεογραφική προέλευση εμφανίζονται με τη μορφή φακοειδών νεφών (*lenticularis*). Ο όρος αυτός που υποδηλώνει νέφη σε σχήμα φακών εφαρμόζεται στους στρωματοσωρείτες, υψισωρείτες ή θυσανωσωρείτες.

Ομίχλη

Ομίχλη μπορεί να είναι σε γενικές γραμμές οποιοδήποτε νέφος που η βάση του ακουμπά στη γη. Συνεπώς, οποιοδήποτε νέφος διαπερνά ένα βουνό θα μπορούσε να αναφερθεί ως ομίχλη από έναν παρατηρητή στο τμήμα εκείνο του βουνού που περικλείεται από το νέφος, ενώ ένας άλλος παρατηρητής που βρίσκεται κάτω από τη βάση του νέφους θα το κατέτασσε σε μια από τις κατηγορίες του πίνακα. Εντούτοις, πραγματική ομίχλη θεωρείται το αποτέλεσμα της ψύχρανσης του αέρα κάτω από το σημείο δρόσου όταν έρχεται σε επαφή με ψυχρή επιφάνεια. Τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα είναι η δημιουργία ομίχλης κατά τη διάρκεια αίθριων νυχτών με άπνοια όταν το έδαφος ψυχραθεί από την ακτινοβολία (ομίχλη ακτινοβολίας/ *radiation fog*) και η δημιουργία ομίχλης (οριζόντιας) μεταφοράς {*advection*} όταν θερμός αέρας κινηθεί πάνω από ψυχρότερες επιφάνειες, φαινόμενο που είναι ιδιαίτερα σύνηθες στις θαλάσσιες περιοχές. Καθώς η ψύξη κατανέμεται ανοδικά εξαιτίας της ανάμειξης αερίων μαζών, η ομίχλη μπορεί να ανυψωθεί και να σχηματίσει στρώματα (*stratus*) χαμηλού επιπέδου που τις περισσότερες φορές δεν ξεπερνούν τα 500 m σε πάχος και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Μια άλλη σημαντική παράμετρος της νέφωσης είναι το ποσοστό κάλυψης του ουρανού από τα σύννεφα που έχει άμεση επίπτωση στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη επιφάνεια της Γης και την υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους που μπορεί να 'δραπετεύσει' προς το διάστημα. Το πιο συνηθισμένο σύστημα καταγραφής της νεφοκάλυψης είναι σε όγδοα. Έτσι, μηδέν όγδοα σημαίνει τελείως καθαρός ουρανός και 8 όγδοα σημαίνει ότι ο ουρανός είναι πλήρως καλυμμένος από σύννεφα. Η παρατήρηση της κίνησης των νεφών μπορεί, επίσης, να μας δώσει μία ένδειξη της έντασης του ανέμου που επικρατεί σε διάφορα ύψη και τα μεταφέρει.

γ. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

Ο όρος ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα καλύπτει μία ευρεία περιοχή φαινομένων από την ψιχάλα μέχρι το χαλάζι που είναι αποτέλεσμα των διαδικασιών που συμβαίνουν στα σύννεφα. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τους διάφορους τύπους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τα χαρακτηριστικά τους.

	χαρακτηριστικά	τύπος νέφωσης που τα προκαλεί
Ψιχάλα	σταγόνες νερού διαμέτρου 0.1-0.4 mm	St, Sc
Βροχή	σταγόνες νερού διαμέτρου 0.5-4.0 mm	Ns, As, Sc, Ac
Χιόνι	χαλαρά συνδεδεμένα σύνολα μικρών παγοκρυστάλλων (νιφάδες), μικρό μέγεθος σε χαμηλή θερμοκρασία, μεγαλύτερο μέγεθος κοντά στους 0°C	Ns, As, Sc, Cb
Χιονόνερο	εν μέρει λιωμένες νιφάδες χιονιού, ή βροχή και χιόνι μαζί	Ns, As, Sc, Cb
Χαλάζι	κελύφη πάγου δημιουργούν σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερα από 5mm σαν κρεμμύδι	Cb

Τύποι ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τα χαρακτηριστικά τους.

Τα σύννεφα που μπορεί να δώσουν κατακρημνίσματα προέρχονται από ανοδικές κινήσεις αερίων μαζών. Αυτή η άνοδος μπορεί να είναι γρήγορη, όπως στα σύννεφα κατακόρυφης μεταφοράς, με αποτέλεσμα δυνατή βροχή, ή μπορεί να είναι αργή, όπως στα σύννεφα με μορφή στρώματος, που δίνουν ασθενή βροχή ή ψιχάλα. Μερικά σύννεφα βροχής είναι 'θερμά', δηλαδή παντού μέσα τους η θερμοκρασία είναι πάνω από το σημείο πήξης του νερού. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα μικρά γεωγραφικά πλάτη. Συνήθως, όμως, στο πάνω μέρος των νεφών η θερμοκρασία είναι μικρότερη του μηδενός και περιέχουν μικρούς παγοκρυστάλλους μαζί με σταγόνες νερού που δεν έχουν παγώσει ('ψυχρά' σύννεφα). Αυτό οφείλεται στην έλλειψη από την ατμόσφαιρα αρκετών σωματιδίων όπου μπορούν να αναπτυχθούν οι παγοκρύσταλλοι.

Μία σταγόνα βροχής ζυγίζει περίπου όσο ένα εκατομμύριο σταγόνες νέφους. Στα θερμά σύννεφα, μία σταγόνα βροχής είναι κυρίως αποτέλεσμα της συνένωσης σταγόνων νέφους πάνω της καθώς αυτή ακολουθεί τα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα μέσα στο σύννεφο πριν γίνει αρκετά βαριά για να πέσει στην επιφάνεια της Γης. Στα ψυχρά σύννεφα, όμως, κυριαρχεί η ανάπτυξη νιφάδων χιονιού από συνένωση παγοκρυστάλλων, που το σχήμα τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία, παρά από συνένωση σταγόνων βροχής. Σε αυτά τα σύννεφα η βροχή προέρχεται τελικά από παγοκρυστάλλους ή νιφάδες χιονιού που λιώνουν καθώς πέφτουν σε χαμηλότερα ύψη και συναντούν θερμοκρασίες του αέρα μεγαλύτερες από το σημείο πήξης του νερού, διαφορετικά πέφτουν σαν χιόνι.

Το χαλάζι προέρχεται από καταιγίδοφόρα σύννεφα με μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη και πολύ έντονα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα αέρα μέσα σε αυτά. Σε αυτά τα σύννεφα οι παγοκρύσταλλοι ανεβοκατεβαίνουν πολλές φορές περνώντας από περιοχές με διαφορετική θερμοκρασία. Σε κάθε περιοχή προστίθεται στον παγοκρύσταλλο ένα στρώμα νερού λόγω συγκρούσεων με σταγόνες νερού το οποίο στη συνέχεια παγώνει δίνοντας στο χαλάζι τη μορφή φλοιών κρεμμυδιού. Όταν ο χαλαζόκοκκος γίνει αρκετά βαρύς δεν μπορεί να συγκρατηθεί από τα ανοδικά ρεύματα στο σύννεφο και πέφτει στην επιφάνεια της Γης. Οι μεγάλοι χαλαζόκοκκοι είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι ακόμα και για τον άνθρωπο: μπορεί να έχουν το μέγεθος ακόμα και μιας μπάλας του τένις, βάρους 150 gr και να πέφτουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από 100 km/hr.

Η σημασία της βροχής είναι φανερή, για παράδειγμα για τα αποθέματα πόσιμου νερού ή την ανάπτυξη των γεωργικών καλλιεργειών. Η βροχόπτωση και η θερμοκρασία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το κλίμα ενός τόπου.

Η βροχόπτωση ποικίλει αρκετά τόσο χωρικά όσο και χρονικά ακόμα και από λεπτό σε λεπτό κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συνολική βροχόπτωση σε ένα έτος είναι παρόμοιοι με αυτούς που επηρεάζουν την υγρασία: το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο του τόπου, η απόσταση από τη θάλασσα, η αστικοποίηση της περιοχής. Η βροχόπτωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εποχή και για το δικό μας κλίμα (μεσογειακό) παρουσιάζει μέγιστο το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι, αλλά αυτό δεν ισχύει για όλες τις περιοχές της Γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περιοχή της νοτιοανατολικής Ασίας που έχει μέγιστο βροχόπτωσης τη θερμή περίοδο του έτους (Μουσώνες).

Σημείο δρόσου

Ο αέρας κάτω από μια ορισμένη θερμοκρασία μπορεί να περιέχει ένα συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας σε μορφή υδρατμών το οποίο αυξάνεται ή ελαττώνεται ανάλογα με την θερμοκρασία. Εάν η θερμοκρασία του αέρα ελαττωθεί κάτω από μια ορισμένη θερμοκρασία που ορίζεται σαν το σημείο Δρόσου (σημείο κορεσμού), οι επιπλέον υδρατμοί που θα σχηματιστούν θα συμπυκνωθούν και θα εμφανιστούν σε μορφή δροσιάς, ομίχλης ή βροχής. Σε μια θερμοκρασία πχ 15°C και σχετικής υγρασίας 50% το σημείο δρόσου είναι περίπου 5°C, σε ένα ποσοστό υγρασίας 80% το σημείο δρόσου είναι περίπου 12°C. Σε ποσοστό σχετικής υγρασίας 100% επέρχεται κορεσμός με το σημείο δρόσου να είναι η θερμοκρασία 15°C. Σε σημείο Δρόσου κάτω από την θερμοκρασία ψύξης οι υδρατμοί θα πάρουν την μορφή χιονιού ή πάγου.

5. Άνεμος

Άνεμος είναι η συστηματική κίνηση του αέρα και προσδιορίζεται από την ένταση του (δηλαδή την ταχύτητα του) και την διεύθυνση του. Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να κινηθεί και κατακόρυφα (ανοδικά και καθοδικά ρεύματα), αλλά σαν άνεμος θεωρείται μόνο η οριζόντια συνιστώσα της κίνησης του.

Η ταχύτητα του αέρα μετριέται συνήθως σε μέτρα ανά δευτερόλεπτα (m/s). Όμως, ευρύτερα γνωστή είναι η κλίμακα Beaufort που χρησιμοποιείται για να προσδιορίζεται ποιοτικά η ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με την επίδραση του στον κυματισμό της θάλασσας. Το 4 στην κλίμακα Beaufort αντιστοιχεί σε μέτρια αύρα (περίπου 4.5m/s), το 8 αντιστοιχεί σε θύελλα (περίπου 19m/s), ενώ το 12 αντιστοιχεί σε τυφώνα (περίπου 33m/s). Στη Μετεωρολογία διεύθυνση του ανέμου θεωρείται αυτή από την οποία φυσά ο άνεμος. Έτσι, βόρειος είναι ο άνεμος που φυσά από την διεύθυνση του Βορρά. Η διεύθυνση μετριέται σε μοίρες και οι 0 ή 360 μοίρες αντιστοιχούν στο βόρειο άνεμο. Συνηθίζεται, επίσης, ολόκληρη η περιοχή τιμών να χωρίζεται σε 8, 12 ή 16 ίσα διαστήματα που ονομάζονται τομείς διευθύνσεων. Έτσι, αν θεωρήσουμε 8 τομείς, ο βορειοδυτικός τομέας αντιστοιχεί στην περιοχή τιμών 292.5-337.5 μοίρες.

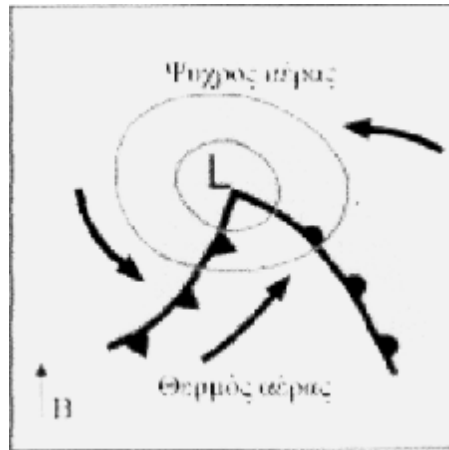
Η κινητήρια δύναμη του ανέμου, δηλαδή η δύναμη που προκαλεί την κίνηση του αέρα, είναι η δύναμη της βαροβαθμίδας (χωρική μεταβολή της πίεσης). Στην κίνηση του αέρα αντιτίθεται η δύναμη της τριβής με το έδαφος. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Επειδή η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της (πλήρης περιστροφή σε μία ημέρα) και κατά δεύτερο λόγο γύρω από τον Ήλιο (σε ένα έτος), πάνω σε οποιοδήποτε σώμα (στην προκειμένη περίπτωση στον αέρα) που κινείται ως προς την επιφάνεια της Γης ασκείται μία δύναμη που ονομάζεται δύναμη Coriolis. Για να γίνει αντιληπτή αυτή η δύναμη, φανταστείτε ότι ένας πύραυλος εκτοξεύεται αρχικά κατακόρυφα από ένα σημείο στο Βόρειο ημισφαίριο της Γης. Επειδή η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της αντίστροφα από τους δείκτες του ρολογιού ένας παρατηρητής στην επιφάνεια της Γης στο σημείο εκτόξευσης θα βλέπει τον πύραυλο να μην κινείται κατακόρυφα αλλά να στρίβει προς τα δεξιά του. Στο Νότιο ημισφαίριο η δύναμη Coriolis στρέφει ένα κινούμενο σώμα προς τα αριστερά. Η δύναμη Coriolis είναι ανάλογη της ταχύτητας του σώματος και για να γίνει αντιληπτή η επίδραση αυτής της δύναμης πρέπει το σώμα να διανύσει μεγάλη απόσταση. Η ισορροπία αυτών των τριών δυνάμεων με την φυγόκεντρο δύναμη (δηλαδή τη δύναμη που προσπαθεί να κρατήσει ένα κινούμενο σώμα, όπως ένα αυτοκίνητο, σε ευθύγραμμη πορεία αν αυτό αρχίζει να στρίβει) καθορίζει την κίνηση του αέρα. Η φυγόκεντρος δύναμη είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του σώματος και έχει φορά προς το εξωτερικό μέρος της στροφής που ακολουθεί το σώμα.

Η δύναμη της τριβής που είναι σημαντική κοντά στο έδαφος (συνήθως μέχρι το ύψος των 1-1.5km από το έδαφος, δηλαδή μέσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα) έχει σαν αποτέλεσμα να στρίβει τη διεύθυνση του ανέμου προς τις χαμηλότερες πιέσεις. Σε ύψη πάνω από το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα η τριβή είναι αμελητέα και η δύναμη Coriolis εξισορροπεί την δύναμη βαροβαθμίδας σε περιοχές όπου οι ισοβαρείς καμπύλες είναι σχεδόν ευθείες και ο άνεμος είναι παράλληλος στις ισοβαρείς (γεωστροφικός άνεμος). Οι ισοβαρείς καμπύλες συνδέουν σημεία ίδιας βαρομετρικής πίεσης αναγόμενης σε κανονικές συνθήκες.

Κλίμακες συστημάτων ανέμων-Γενική κυκλοφορία

Μπορούμε να διακρίνουμε διάφορες χωρικές κλίμακες κίνησης του αέρα παρόμοια με τις κλίμακες μεταβλητότητας των υπόλοιπων ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Έτσι, υπάρχουν τοπικοί άνεμοι που περιορίζονται σε οριζόντιες εκτάσεις 50- 100km και εμπεριέχονται σε ένα μεγαλύτερο σύστημα ανέμων (συναπτικοί άνεμοι) που εκτείνεται σε περιοχές τόσο μεγάλες όσο ολόκληρη η Ελλάδα ή η Ευρώπη. Οι συναπτικοί άνεμοι αποτελούν με τη σειρά τους τμήμα ενός συστήματος που καλύπτει ολόκληρη τη Γη και τα χαρακτηριστικά είναι ευδιάκριτα όταν εξετάζουμε μέσες καταστάσεις για μεγάλη χρονική περίοδο (για παράδειγμα μία εποχή του έτους). Αυτό το σύστημα ανέμων αποτελεί τη γενική κυκλοφορία και εκτείνεται κατακόρυφα μέχρι την τροπόπαυση.

Αιτία της γενικής κυκλοφορίας (δηλαδή των αντίστοιχων συστημάτων πιέσεων) είναι η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον Ήλιο λόγω της κλίσης του άξονα περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της σε σχέση με το επίπεδο της περιστροφής της γύρω από τον Ήλιο και της ανομοιόμορφης κατανομής ξηράς και θάλασσας. Οι πιο σταθεροί και εκτεταμένοι άνεμοι της γενικής επιφανειακής κυκλοφορίας είναι οι Αληγείς (βορειοανατολικοί άνεμοι στο Βόρειο ημισφαίριο και νοτιοανατολικοί στο Νότιο ημισφαίριο) που εκτείνονται στα γεωγραφικά πλάτη 10° - 25° Βόρεια και 5° - 20° Νότια. Οι άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα έχουν μεγάλη σημασία γιατί αλληλεπιδρούν με τους επιφανειακούς ανέμους και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη των καιρικών συστημάτων. Για γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα από 20° οι άνεμοι στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι δυτικοί και στα δύο ημισφαίρια.



Πρότυπο ύφεσης στο Βόρειο ημισφαίριο. Οι λεπτές γραμμές είναι οι ισοβαρείς καμπύλες της επιφανειακής πίεσης. Με βέλη δείχνεται ο άνεμος και με έντονες γραμμές σημειώνονται ένα θερμό μέτωπο (δεξιά) και ένα ψυχρό μέτωπο (αριστερά).

Συνοπτική κυκλοφορία

Τα συνοπτικά συστήματα ανέμων σχετίζονται με τον τοπικό καιρό και είναι αποτέλεσμα των περιοχών-κέντρων πίεσης συνοπτικής κλίμακας (τα γνωστά χαμηλά και υψηλά βαρομετρικά συστήματα). Τα βαρομετρικά συστήματα είναι αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης θέρμανσης της επιφάνειας της Γης από τον Ήλιο, όπως έχει αναφερθεί. Είναι συχνά αρκετά βολικό να θεωρούμε ότι η τροπόσφαιρα αποτελείται από αέριες μάζες που έχουν έκταση αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα και διαφέρουν ως προς τη θερμοκρασία τους ή την υγρασία τους σαν αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης με την ξηρά ή τη θάλασσα. Αν και τα όρια των αέριων μαζών είναι γενικά ασαφή, στα μεσαία και μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη είναι αρκετά έντονα γιατί οι αέριες μάζες διαφέρουν σημαντικά και ονομάζονται μέτωπα ή μετωπικές επιφάνειες (δεν είναι πραγματικές διαχωριστικές επιφάνειες, αλλά νοητές). Για παράδειγμα, το πολικό μέτωπο του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού το χειμώνα χωρίζει ψυχρές πολικές αέριες μάζες από θερμές θαλάσσιες αέριες μάζες που εκτείνονται νοτιότερα. Πάνω σε αυτό το σχεδόν στάσιμο μέτωπο αναπτύσσονται περιοχές χαμηλής βαρομετρικής πίεσης (χαμηλά βαρομετρικά) που λέγονται υφέσεις. Στα χαμηλά βαρομετρικά οι επιφανειακοί άνεμοι συγκλίνουν στο κέντρο τους (χαμηλή πίεση) και ανεβαίνουν προκαλώντας σύννεφα και βροχή. Η παραπάνω εικόνα δείχνει ένα πρότυπο ύφεσης όπου σημειώνονται οι μετωπικές επιφάνειες. Όπως φαίνεται στην εικόνα, οι άνεμοι στρέφονται αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού (κυκλωνική κίνηση) σαν αποτέλεσμα της φοράς της δύναμης Coriolis (το αντίθετο συμβαίνει στο Νότιο ημισφαίριο). Οι υφέσεις είναι ο συνήθης τύπος χαμηλών βαρομετρικών το χειμώνα στην Ελλάδα και μετακινούνται ακολουθώντας τη δυτική ανώτερη κυκλοφορία, όπως όλα τα βαρομετρικά συστήματα, προκαλώντας την εξέλιξη του καιρού στις διάφορες περιοχές. Το καλοκαίρι η διαδρομή που ακολουθούν οι υφέσεις μετατοπίζεται προς το Βορρά και σπάνια περνούν από την περιοχή της Ελλάδας.

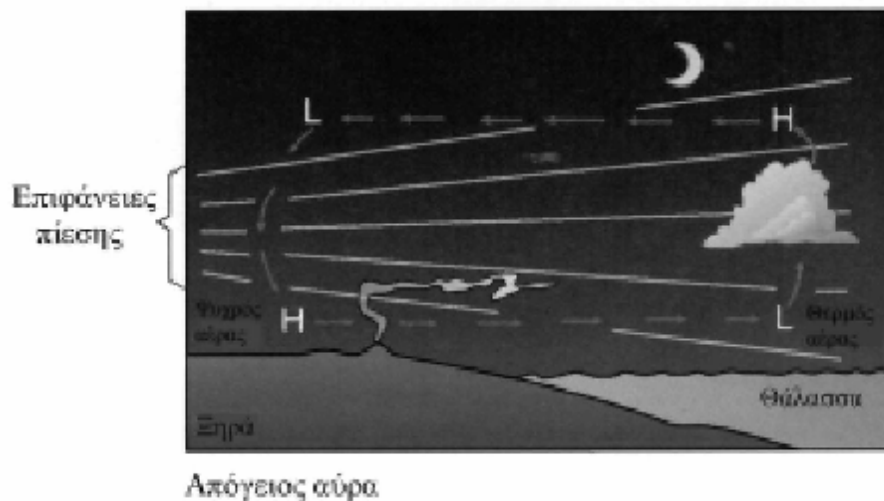
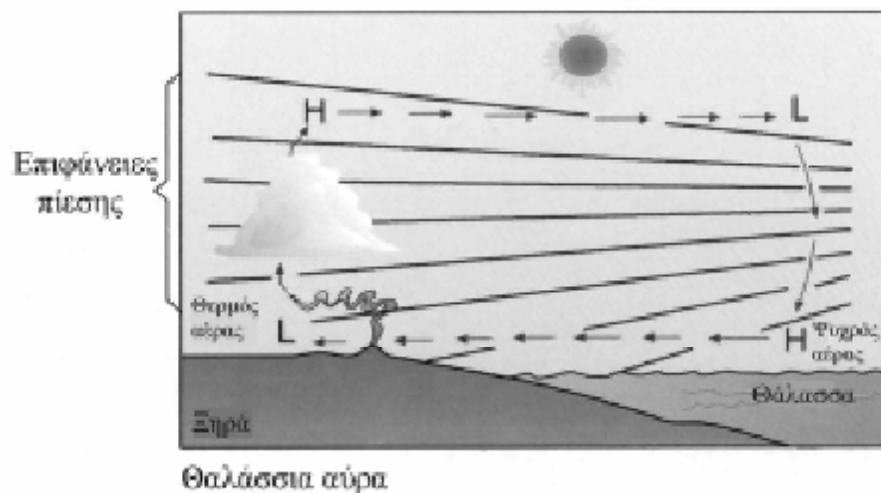
Ένα άλλο είδος χαμηλών βαρομετρικών δημιουργείται το καλοκαίρι λόγω έντονης θέρμανσης της ξηράς πάνω από τις ηπείρους και εν συνεχεία άνοδο του αέρα (κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας). Χαρακτηριστικό χαμηλό είναι το χαμηλό βαρομετρικό που αναπτύσσεται πάνω από την Ινδία το καλοκαίρι. Το 'αντιστάθμισμα' των χαμηλών βαρομετρικών είναι τα υψηλά βαρομετρικά (αντικυκλώνες), περιοχές υψηλής βαρομετρικής πίεσης όπου ο αέρας έχει καθοδική κίνηση και θερμαίνεται καθώς κατεβαίνει, με χαμηλούς ανέμους και απουσία νέφωσης. Χαρακτηριστικός αντικυκλώνας είναι ο μόνιμος αντικυκλώνας του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού (αντικυκλώνας των Αζόρων). Το καλοκαίρι, η επέκταση του συγκεκριμένου ανακύκλωνα προς τα ανατολικά και του θερμού χαμηλού βαρομετρικού της Ινδίας προς την Κύπρο συνδυάζονται και έχουν σαν αποτέλεσμα την επικράτηση έντονων βορειανατολικών (και επομένως δροσερών) ανέμων στην περιοχή της Ελλάδας και ιδιαίτερα στο Αιγαίο Πέλαγος (μελέτμια ή ετήσιες).

Τοπικοί άνεμοι

Οι τοπικοί άνεμοι οφείλονται σε τοπικές διαφορές θερμοκρασίας (άρα και πίεσης) λόγω της τοπικής διανομής ξηράς-θάλασσας ή τη μορφολογία του εδάφους και περιορίζονται στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Σημαντικό χαρακτηριστικό των τοπικών ανέμων είναι η τύρβη, δηλαδή οι απότομες μεταβολές του ανέμου (ακόμα και μέσα σε ένα δευτερόλεπτο), που οφείλονται στην αυξημένη τριβή του ανέμου με το έδαφος ή στην κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας που εξαρτώνται από την κάλυψη του εδάφους. Αποτέλεσμα της τριβής με το έδαφος είναι η κατακόρυφη κατατομή της ταχύτητας του ανέμου να αυξάνεται με το ύψος τουλάχιστον κοντά στο έδαφος. Η σημαντικότερη επίδραση της τύρβης είναι ότι προσπαθεί να εξομαλύνει τις κατακόρυφες μεταβολές του ανέμου αλλά και της θερμοκρασίας ή της υγρασίας (κατακόρυφη ανάμειξη). Η τύρβη είναι αρκετά περιορισμένη σε συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής, όπως συμβαίνει συνήθως τη νύκτα πάνω από τη ξηρά, γιατί σε αυτή την περίπτωση ψυχρός-βαρύτερος αέρας βρίσκεται κάτω από θερμό-ελαφρύτερο και, επομένως, δεν ευνοείται η κατακόρυφη ανάμειξη (ατμοσφαιρική ευστάθεια). Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία μειώνεται με το ύψος (ατμοσφαιρική αστάθεια).

Τοπικοί άνεμοι που οφείλονται σε τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές είναι η θαλάσσια-απόγεια αύρα και οι αναβατικοί-καταβατικοί άνεμοι. Η πρώτη περίπτωση οφείλεται στο διαφορετικό ρυθμό θέρμανσης την ημέρα ή ψύξης την νύκτα της ξηράς από ότι η θάλασσα, η οποία παρουσιάζει πολύ μικρές μεταβολές της επιφανειακής της θερμοκρασίας (λιγότερο από 1°C) στη διάρκεια μιας ημέρας. Έτσι, την ημέρα η ξηρά είναι θερμότερη της θάλασσας και ο τοπικός άνεμος πνέει από τη θάλασσα προς την ξηρά (θαλάσσια αύρα), ενώ το αντίθετο συμβαίνει την νύκτα (απόγειος αύρα). Η Εικόνα Ε.5 δείχνει σχηματικά την ανάπτυξη της κυκλοφορίας της θαλάσσιας και της απόγειας αύρας. Η καταβατική ροή οφείλεται στη νυκτερινή ψύξη του εδάφους λόγω της υπέρυθρης ακτινοβολίας του και κατά συνέπεια του αέρα κοντά σε αυτό.

Ο ψυχρός και βαρύς αέρας 'κατρακυλά' με την επίδραση της βαρύτητας κατά μήκος μίας πλαγιάς (καταβατική ροή). Αντίθετα, την ημέρα η θέρμανση μιας πλαγιάς έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο του θερμού και ελαφρύ αέρα κοντά σε αυτή (αναβατική ροή). Οι αναβατικές - καταβατικές ροές έχουν μικρό βάθος, λίγες δεκάδες μέτρα, ενώ αντίθετα η θαλάσσια-απόγεια αύρα μπορεί να φτάσει μέχρι το ύψος των 1-2km. Οι άνεμοι που οφείλονται σε τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές αναπτύσσονται όταν οι συνοπτικοί άνεμοι δεν είναι πολύ ισχυροί (όπως συμβαίνει στο κέντρο ενός αντικυκλώνα) και ακολουθούν χαρακτηριστική ημερήσια πορεία. Κατά συνέπεια, έχουν σημαντική επίπτωση στον περιορισμό των υψηλών θερμοκρασιών το καλοκαίρι ή τη διασπορά της αέριας ρύπανσης σε συνθήκες χαμηλού συνοπτικού ανέμου στις μεγάλες πόλεις που συνήθως βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές.



Η μορφολογία του εδάφους και συγκεκριμένα η ύπαρξη των ορεινών όγκων εμποδίζουν την οριζόντια κίνηση του αέρα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη για παράδειγμα 'καταβατικών' ανέμων (ορογραφικοί άνεμοι) στην υπήνεμη πλευρά των ορεινών όγκων ανάλογα με την κατακόρυφη θερμοκρασιακή δομή της ατμόσφαιρας. Ένας αρκετά γνωστός τέτοιος άνεμος είναι ο λίβας και γίνεται αισθητός κυρίως το χειμώνα σε όσους μένουν κοντά σε οροσειρές σαν θερμός αέρας από την κατεύθυνση του βουνού. Αυτό οφείλεται στη θέρμανση του αέρα καθώς αυτός αναγκάζεται λόγω τοπογραφίας να κατέβει συναντώντας υψηλότερες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης (συμπίεση).

Δείκτης Ψυχρότητας

Ο Δείκτης Ψυχρότητας χρησιμοποιήθηκε ευρέως κατά την διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου. Αυτός αντιπροσωπεύει όχι την πραγματική θερμοκρασία αλλά την θερμοκρασία που αισθάνεται ο άνθρωπος όταν είναι εκτεθειμένος σε ένα ανοιχτό χώρο κάτω από τον συνδυασμό της επίδρασης αέρα και κρύου. Ο δείκτης Ψυχρότητας παρουσιάζεται σε πίνακες συγκρίνοντας και υπολογίζοντας τις διάφορες θερμοκρασίες με τις αντίστοιχες ταχύτητες ανέμου. Πχ έχοντας μια εξωτερική θερμοκρασία 8°C και συνθήκες άπνοιας ένα άτομο που κινείται με μια ταχύτητα 6 m/s θα αισθάνεται σαν να βρισκόταν σε μια θερμοκρασία 0°C (ο δείκτης ψυχρότητας είναι 0°C).

6. Μέτωπα *

Ιστορική Αναδρομή

Κατά τη διάρκεια του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου, όταν η Νορβηγία αποκόπηκε από τις εξωτερικές μετεωρολογικές πληροφορίες, ο Vilhelm Bjerkness ίδρυσε ένα γεωφυσικό ινστιτούτο στην πόλη Bergen, τη Σχολή Bergen, και έπεισε τη Νορβηγική κυβέρνηση να εγκαταστήσει ένα πυκνό δίκτυο σταθμών για να παρέχει δεδομένα για τις μετεωρολογικές του μελέτες. Εκείνη την εποχή, ήταν γνωστό ότι οργανωμένες περιοχές βροχής σχετιζόνταν συχνά με ζώνες σύγκλισης στο πεδίο επιφανειακών ανέμων. Ο γιος του Vilhelm, Jacob δημοσίευσε μια εργασία το 1919, σε ηλικία 22 ετών, όπου εισήγαγε την έννοια των θερμών, ψυχρών και συνεσφιγμένων μετώπων και ερμήνευσε σωστά τη σχέση τους με τα συστήματα χαμηλών πιέσεων.

Ο όρος μέτωπο παρουσιάστηκε ως παρομοίωση με πολεμικές συρράξεις, όπου οι αέριες μάζες είναι τα έθνη και τα μέτωπα είναι οι περιοχές σύγκρουσης μεταξύ δύο διαφορετικών εθνών. Μέχρι το 1926, σε συνεργασία με άλλους στο ινστιτούτο κατάφερε να περιγράψει τη δομή και των κύκλων ζωής των μετωπικών χαμηλών.

Δεν υπάρχουν όμοια μετωπικά συστήματα και σπανίως είναι απόλυτα συμβατά με τα κλασσικά μοντέλα. Εντούτοις είναι χρήσιμο να έχουμε μια γενική άποψη των μοντέλων των μετεωρολογικών συστημάτων, που αποτελούν τη βάση για ανάλυση και πρόγνωση των ατμοσφαιρικών διεργασιών.

Ορισμός και συνοπτική περιγραφή ενός μετώπου

Το όριο μεταξύ δύο αέριων μαζών διαφορετικού είδους λέγεται μέτωπο. Στην πραγματικότητα, τα μέτωπα είναι τρισδιάστατες μεταβατικές ζώνες (μετωπικές ζώνες) που συνήθως διαχωρίζουν μια θερμή από μια ψυχρότερη αέρια μάζα. Στους μετεωρολογικούς χάρτες, μέτωπο θεωρείται η τομή του θερμού ορίου της τρισδιάστατης μετωπικής ζώνης με την επιφάνεια της γης. Οι μετωπικές ζώνες έχουν εύρος που κυμαίνεται συνήθως από 50-100 km. Στα μέτωπα οι απότομες διαφοροποιήσεις των χαρακτηριστικών των αέριων μαζών είναι συχνό φαινόμενο. Οι διαφοροποιήσεις αυτές υποδεικνύουν το βαθμό ευρύτητας της μετωπικής ζώνης. Πιο ομαλές μεταβολές στις ιδιότητες του ατμοσφαιρικού αέρα αποτελούν ένδειξη για ευρείες μετωπικές ζώνες και συνδέονται συνήθως με ασθενέστερα μετεωρολογικά φαινόμενα.

Οι μεταβολές στο πεδίο θερμοκρασιών είναι συνήθως οι ανακολουθίες εκείνες που είναι πιο ευδιάκριτες σε ένα μέτωπο, καθώς όταν ένα μέτωπο περάσει από μια συγκεκριμένη τοποθεσία επιφέρει αξιοσημείωτες μεταβολές θερμοκρασίας στην επιφάνεια. Όσο μεγαλύτερο είναι το υψόμετρο, τόσο μικρότερες είναι οι μεταβολές. Σημαντικές μπορεί να είναι επίσης και οι μεταβολές στην υγρασία του αέρα σε ένα μέτωπο. Στα δικά μας γεωγραφικά πλάτη, η θερμή αέρια

μάζα στη μία πλευρά ενός μετώπου είναι συνήθως υγρή και πλησιάζει την κατάσταση κορεσμού, ενώ από την άλλη, η ψυχρή αέρια μάζα είναι ξηρή.

Παρ' όλα αυτά, οι μεταβολές της υγρασίας δεν είναι πάντα ευδιάκριτες χωρίς τα κατάλληλα όργανα. Επιπλέον, η διεύθυνση και η ένταση ανέμου καθώς και η πίεση επιφανείας μεταβάλλονται με την πάροδο ενός μετώπου, όπου η πίεση επιφανείας είναι μεγαλύτερη στον ψυχρό από ότι στο θερμό αέρα.

Τα μέτωπα κατατάσσονται ανάλογα με τη διεύθυνση με την οποία κινούνται. Κατά συνέπεια, προκύπτουν 4 κύρια είδη μετώπων: το ψυχρό μέτωπο, το θερμό μέτωπο, το στάσιμο μέτωπο και το συνεσφιγμένο μέτωπο.

Ψυχρό μέτωπο: Αν ο αέρας στην ψυχρή πλευρά της μετωπικής ζώνης προχωρεί στην περιοχή όπου πριν ο αέρας που επικρατούσε ήταν πιο θερμός, το μέτωπο λέγεται ψυχρό. Στους μετεωρολογικούς χάρτες τα ψυχρά μέτωπα απεικονίζονται ως οδοντωτά τριγωνικά σχήματα που δείχνουν προς την κατεύθυνση της κίνησης ([Εικόνα 1](#)). Για παράδειγμα, το μέτωπο πάνω από τα βόρεια Βαλκάνια στην [Εικόνα 2](#) κατευθύνεται νοτιοανατολικά ως ψυχρό μέτωπο.

Επειδή ο ψυχρός αέρας είναι πυκνότερος από το θερμό αέρα που προηγήθηκε, ο ψυχρός αέρας εισχωρεί σαν σφήνα κάτω από τον θερμό αέρα και δημιουργείται ένα επικλινές όριο. Το ψυχρό μέτωπο κλίνει προς τα πίσω με το ύψος από την επιφανειακή του θέση ([Εικόνα 3](#)). Αντί για ένα κάθετο όριο μεταξύ θερμού και ψυχρού αέρα, η διάταξη ενός ψυχρού μετώπου μοιάζει όντως με σφήνα με μια μέση κλίση από 1 έως 70°. Η οριζόντια απόσταση ενός ψυχρού μετώπου είναι γύρω στα 400 km ενώ το κάθετο ύψος κυμαίνεται από 3.5 ως 4.5 km.

Ο παρατηρητής από την επιφάνεια έχει λίγες προειδοποιητικές ενδείξεις για ένα επερχόμενο ψυχρό μέτωπο, παρότι ίσως υπάρχουν κάποιες υπόνοιες από φαινόμενα όπως για παράδειγμα μια σύντομη διάσπαση στρωματοσσωρειτών (stratocumulus) νεφών, μια μικρή πτώση σε ένα προηγούμενως σταθερό βαρομετρικό ή μια μικρή αντιστροφή του ανέμου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το ψυχρό μέτωπο έρχεται με δυνατή μπόρα από μικρές αλλά ισχυρές σωρειτομελανίες (cumulonimbus), που είναι ενσωματωμένες στο μετωπικό νέφος εν γένει. Καθώς διέρχεται το ψυχρό μέτωπο, ο άνεμος στρέφεται προς τα δεξιά και συνήθως αυξάνει η έντασή του καθώς και η βαρομετρική πίεση ενώ τα νεφικά στρώματα (stratus) διακρίνονται με σαφήνεια, εν μέρει τουλάχιστον. Η βροχή μπορεί να συνεχίζεται και να συνοδεύεται από μεσαίου επιπέδου σωρειτομελανίες (nimbostratus) και μερικά τμήματα χαμηλών νεφικών στρωμάτων (stratus). Σύντομα, στο βορειοδυτικό ορίζοντα υπάρχει ένα σαφές άνοιγμα που μαρτυρεί την πάροδο ενός τυπικού ψυχρού μετώπου. Το άνοιγμα στον ουρανό επεκτείνεται χωρίς ωστόσο να αποκλείεται το ενδεχόμενο μιας τελευταίας μπόρας ή βροχής. Τελικά, ο ψυχρός αέρας επέρχεται με διαστήματα ηλιοφάνειας, σωρείτες (cumulus), χαμηλό σημείο δρόσου, αυξανόμενο βαρομετρικό και στροφή ανέμου (προς τα δεξιά) κοντά στην επιφάνεια. Παρόλο που ένα ψυχρό μέτωπο δεν προειδοποιεί με πολλές ενδείξεις για τον ερχομό του, αφήνει πάρα πολλά σημάδια που μαρτυρούν ότι έχει περάσει.

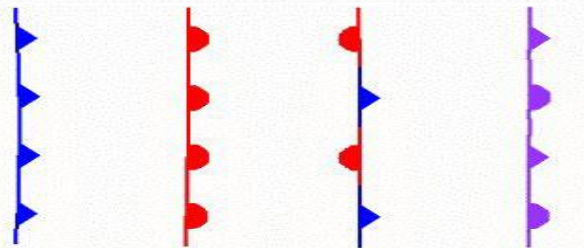
Τέλος, η θερμοκρασία σημειώνει συνήθως πτώση σε συγκεκριμένη τοποθεσία κατά τη διέλευση ενός ψυχρού μετώπου καθώς υπάρχει μεταφορά ψυχρότερου αέρα. Εντούτοις αργότερα η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της ηλιοφάνειας στην καθαρότερη ατμόσφαιρα πίσω από το μέτωπο.

Η ορατότητα είναι από μέτρια μέχρι χαμηλή στις περιοχές με φαινόμενα υετού (βροχόπτωσης) από το μέτωπο, ενώ βελτιώνεται γρήγορα σε καλή ή άριστη πίσω από το μέτωπο.

Θερμό μέτωπο: Αν ο αέρας στη ψυχρή πλευρά του μετώπου υποχωρεί δίνοντας τη θέση του στο θερμότερο αέρα, το μέτωπο λέγεται θερμό και απεικονίζεται στους μετεωρολογικούς χάρτες από ημικυκλικά σύμβολα ([Εικόνα 1](#)) τα οποία δείχνουν προς την κατεύθυνση της μετωπικής κίνησης, που στην περίπτωση αυτή είναι η κατεύθυνση του ψυχρότερου αέρα. Για παράδειγμα, δείτε στην [Εικόνα 2](#) το θερμό μέτωπο πάνω από τα Πυρηναία. Μπροστά από το θερμό μέτωπο βρίσκεται ο ψυχρός αέρας σε λογικά επίπεδα ξηρότητας με ανάλογο σημείο δρόσου. Τότε έρχεται ο θερμός, υγρός αέρας με την υψηλή θερμοκρασία και σημείο δρόσου. Ο θερμός αέρας είναι λιγότερο πυκνός από τον ψυχρότερο αέρα και κατά συνέπεια ανεβαίνει πάνω από τον ψυχρό αέρα. Η μετωπική ζώνη είναι συνεπώς επικλινής με τον θερμό, υγρό αέρα να κινείται ανοδικά σε μια επικλινή πορεία ([Εικόνα 4](#)) με μέση κλίση από 1 έως 150.

Σε όλη τη μεικτή μετωπική ζώνη βρίσκονται τα κλασσικά νέφη θερμού μετώπου: θύσσανοι (cirrus), θυσσανοστρώματα (cirrostratus), υψιστρώματα (altostratus) και στρωματομελανίες (nimbostratus) – ταξινομημένα από το υψηλότερο στο χαμηλότερο. Καθώς τα νέφη χαμηλώνουν, γίνονται πιο πυκνά και υγρά.

Ένα ενεργό θερμό μέτωπο διαφαίνεται από την αρκετά σταθερή ακολουθία νεφών που πυκνώνουν και χαμηλώνουν με λίγες διασπάσεις, από την πτωτική βαρομετρική πίεση, τη μείωση της ορατότητας και την αντιστροφή και ενίσχυση των ανέμων επιφανείας μπροστά από το μέτωπο. Μετά από δύο ως τρεις ώρες βροχής το βαρομετρικό θα σταθεροποιηθεί, ο άνεμος θα στραφεί ελαφρώς προς τα δεξιά και η βροχή θα μετατραπεί σε ψιλόβροχο καταδεικνύοντας έτσι ότι έχει περάσει ένα θερμό μέτωπο. Η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί με το πέρασμα ενός μετώπου αλλά αυτό δεν είναι απαραίτητο καθώς η εξάτμιση της βροχής προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας. Το σημείο δρόσου αρχίζει να ανεβαίνει μπροστά από το μέτωπο, και σταθεροποιείται καθώς περνάει το μέτωπο. Αυτό έχει ως επακόλουθο καλή ορατότητα μπροστά από το μέτωπο, η οποία γίνεται μέτρια με τη βροχή (υετό) και περιστασιακά χαμηλή στο τμήμα του θερμού αέρα.



(Εικόνα 1)

Θερμό

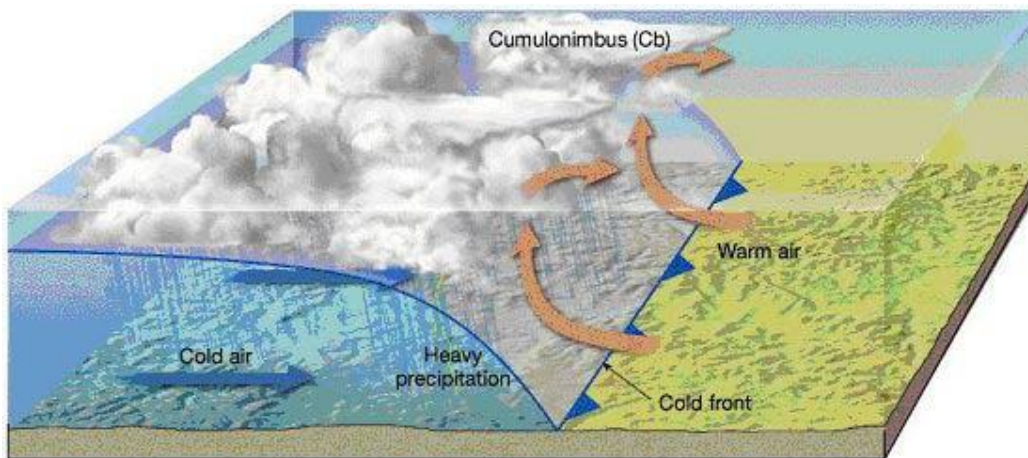
Ψυχρό

Στάσιμο

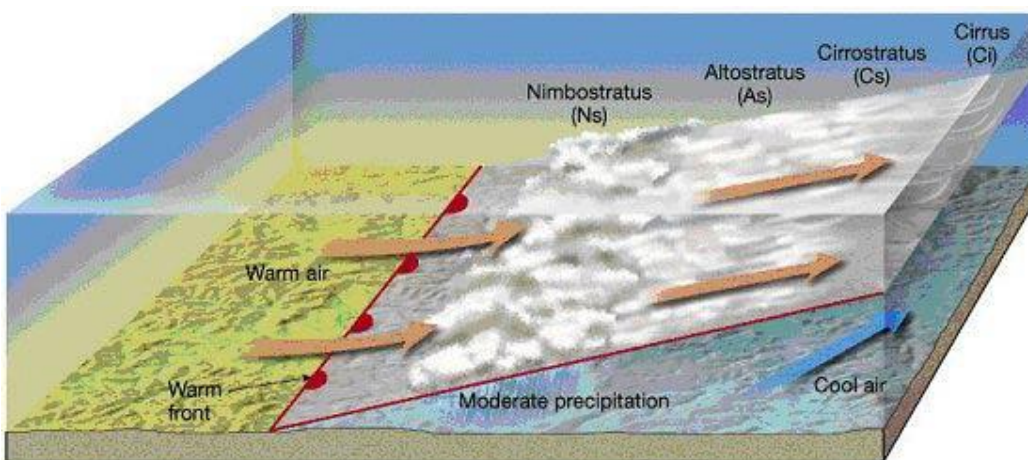
Συνεσφιγμένο



(Εικόνα 2) Ένα παράδειγμα των καιρικών συνθηκών στην Ευρώπη και τα επικρατούντα μέτωπα



(Εικόνα 3) Κατακόρυφη τομή ενός ψυχρού μετώπου.



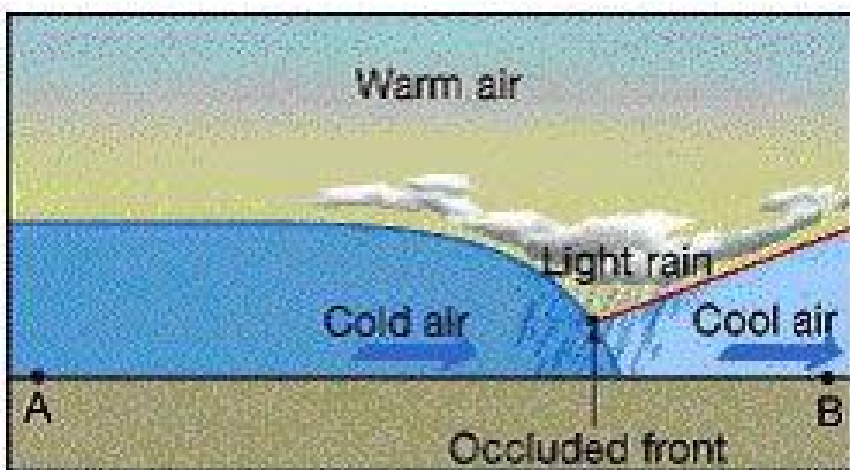
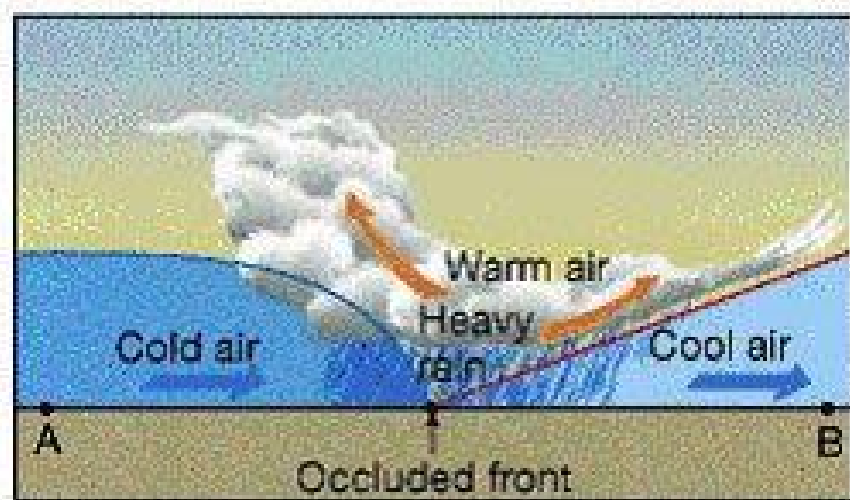
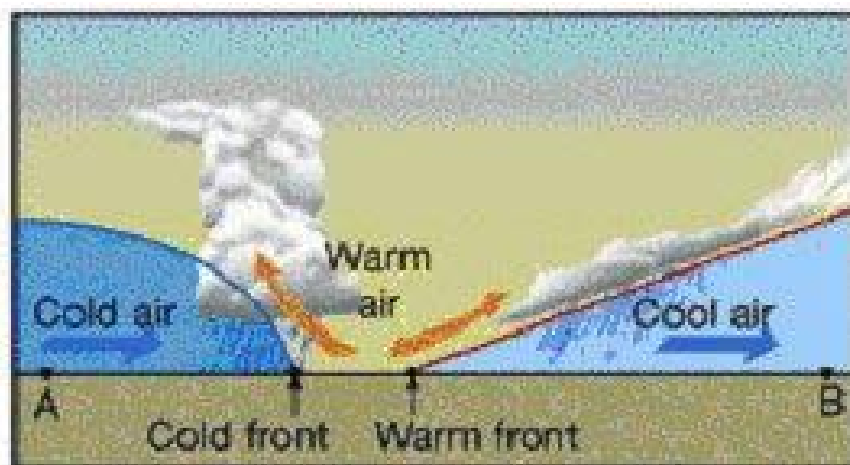
(Εικόνα 4) Κατακόρυφη τομή ενός θερμού μετώπου.

Είδη μετώπων

Στάσιμα μέτωπα : Τα στάσιμα μέτωπα εκδηλώνονται σε περίπτωση που δύο γειτονικές αέριες μάζες με διαφορετικά χαρακτηριστικά δεν αντικαθιστούν η μία την άλλη. Απεικονίζονται με εναλλασσόμενα σύμβολα ψυχρών και θερμών μετώπων σε διαφορετικές πλευρές της μετωπικής γραμμής . Οι δυνάμεις που εξισορροπούν αυτές τις αέριες μάζες συμπεριφέρονται κατά τρόπο που η μετωπική ζώνη να κινείται πολύ λίγο ή καθόλου. Τα μέτωπα αυτά σχηματίζονται συνήθως σε μεγάλες Πολικές αέριες μάζες που κινούνται νότια πάνω από ολοένα θερμότερη θάλασσα, όπως για παράδειγμα η δυτική ακτή της Σκανδιναβίας . Οι άνεμοι επιφανείας στην εγγύς περιοχή ενός στάσιμου μετώπου πνέουν σχεδόν παράλληλα με τη μετωπική ζώνη. Η κλίση ενός τέτοιου μετώπου είναι συνήθως μικρή αλλά μπορεί να αυξηθεί σημαντικά ανάλογα με την κατανομή του ανέμου και τη διαφορά πυκνότητας μεταξύ των δύο αέριων μαζών.

Συνεσφιγμένα (Occluded) μέτωπα : Ένα συνεσφιγμένο μέτωπο ή «σύσφιξη» είναι ο συνδυασμός μεταξύ θερμού και ψυχρού μετώπου και κατά συνέπεια απεικονίζεται στους μετεωρολογικούς χάρτες με εναλλασσόμενα σύμβολα ψυχρού και θερμού μετώπου στην ίδια πλευρά της μετωπικής γραμμής. Παράδειγμα συσφιγμένου μετώπου διαφαίνεται πάνω από τον Ατλαντικό ωκεανό ακριβώς βορειοδυτικά της Πορτογαλίας . Με την κανονική αλληλουχία φαινομένων που οδηγούν στο σχηματισμό ενός συσφιγμένου μετώπου, το ψυχρό μέτωπο κινείται με ταχείς ρυθμούς πρώτα νοτιοανατολικά μετά ανατολικά γύρω από το χαμηλό και προλαβαίνει το προπορευόμενο θερμό μέτωπο. Καθώς το ψυχρό μέτωπο προλαβαίνει το θερμό μέτωπο, ο θερμός και υγρός αέρας ανυψώνεται από το έδαφος. Εδώ η δομή είναι πολύπλοκη καθώς εμπλέκονται τρεις αέριες μάζες. Επειδή οι συσφίξεις είναι συνήθως ψυχρού τύπου, δηλ ο ψυχρός αέρας πίσω από το σύστημα είναι ψυχρότερος από εκείνον μπροστά, απεικονίζονται στο μετεωρολογικό χάρτη περισσότερο ως συνέχεια του ψυχρού παρά του θερμού μετώπου . Εντούτοις αν η αέρια μάζα μπροστά από το σύστημα είναι ψυχρότερη από εκείνη πίσω, όπως συμβαίνει μερικές φορές όταν υπάρχει πολικός ηπειρωτικός ή αρκτικός θαλάσσιος αέρας μπροστά από την ύφεση, η σύσφιξη τότε είναι θερμού τύπου και απεικονίζεται στο χάρτη ως συνέχεια της γραμμής του θερμού μετώπου.

Για έναν παρατηρητή από την επιφάνεια, η κλασσική σύσφιξη μοιάζει με θερμό μέτωπο καθώς πλησιάζει, με νέφη που πυκνώνουν και βροχή που αυξάνει σε ένταση. Καθώς απομακρύνεται ανατολικά, ο ουρανός μπορεί να παρουσιάζει περίπου την ίδια εικόνα με εκείνη που έχει κατά το πέρασμα ενός ψυχρού μετώπου με ένα απότομο τελείωμα στις απομακρυνόμενες νεφώσεις και με επανεμφάνιση νεφώσεων σωρειτών (cumulus).



Κατακόρυφη τομή ενός συνεσφιγμένου μετώπου.

7. Καιρός και Κλίμα

Ο **καιρός** αναφέρεται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες (δηλαδή οι ατμοσφαιρικές παράμετροι που εξετάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες: πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, νέφωση, κατακρημνίσματα, άνεμος) που επικρατούν σε χρονικό διάστημα μερικών ωρών σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Ο καιρός δημιουργείται στο κατώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας, δηλαδή στην τροπόσφαιρα.

Το **κλίμα** είναι τα μέσα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας (κλιματικά στοιχεία – καιρικές συνθήκες) στην περιοχή, όπως προκύπτουν από τα μετεωρολογικά δεδομένα (ατμοσφαιρικοί παράμετροι) τουλάχιστον τριάντα ετών. Έτσι, το κλίμα ενός τόπου είναι χρονική σύνθεση του καιρού σε αυτόν τον τόπο. Η μελέτη και εξήγηση της χρονικής εξέλιξης του καιρού είναι αντικείμενο της μετεωρολογίας, ενώ η ανάλυση και εξήγηση της χωρικής μεταβλητότητας (ή των πιθανών μακροχρόνιων αλλαγών) του κλίματος είναι αντικείμενο της κλιματολογίας χωρίς, όμως, να υπάρχει πραγματικός διαχωρισμός μεταξύ αυτών των δύο κλάδων επιστημονικής μελέτης της ατμόσφαιρας.

Εμπειρική πρόγνωση καιρού

Η φύση μας δίνει πολλές ενδείξεις για τον καιρό που πρόκειται να ακολουθήσει. Έτσι μια αρμαθιά φύκια συστέλλεται και στεγνώνει όταν έχει καλοκαιρία, ενώ φουσκώνει όταν επίκειται βροχή. Το μαλλί μαζεύει και κατσαρώνει όταν πρόκειται να βρέξει και φουσκώνει και ισιώνει όταν ο αέρας είναι ξηρός. Τα κουκουνάρια ανοίγουν με ξηρό καιρό και κλείνουν με υγρό. Ακόμα, μικροί χρωματιστοί κύκλοι γύρω από τη σελήνη προμηνύουν ισχυρό άνεμο όπως και κύκλος γύρω από τον Ήλιο.

Πέρα από τις παροδικές ενδείξεις υπάρχουν και μόνιμες. Η κλίση των δέντρων αλλά και η μορφή τους δείχνουν για παράδειγμα την διεύθυνση και την ένταση του ανέμου που επικρατεί σε μια περιοχή. Η πυκνότητα βλάστησης δείχνει την στάθμη βροχόπτωσης κλπ.

Ακόμα σε κάθε τόπο υπάρχουν μαρτυρίες και ειδικές παρατηρήσεις από τον ντόπιο πληθυσμό που αφορούν την ατμόσφαιρα, τη συμπεριφορά των ζώων ή των φυτών και πρέπει να συλλέγονται διότι πολλές φορές είναι αξιόλογες.

Αναφέρουμε παρακάτω μερικές από τις λαϊκές παρατηρήσεις - εμπειρικούς τρόπους πρόγνωσης του καιρού :

- Παρατηρήσεις στον οργανισμό ή στις συνήθειες ανθρώπων και ζώων.

Πόνοι στα παλαιά τραύματα, προμηνύουν αλλαγή του καιρού την επόμενη μέρα (μετατροπή του βοριά σε νοτιά ή αντίστροφα).

Όταν τα πουλιά πετούν κατά σμήνη και όταν πλησιάζουν ή μπαίνουν στα σπίτια, είναι σημάδι κακοκαιρίας.

Όταν το φθινόπωρο ή την άνοιξη τα χελιδόνια πετούν χαμηλά προμηνύεται κρύος καιρός ή άνεμος

Όταν οι γλάροι πετούν χαμηλά και προς το εσωτερικό της ξηράς προμηνύεται κακοκαιρία.

Όταν οι γλάροι πετάνε κοντά στη θάλασσα θα φυσήξει δυνατός άνεμος

- Παρατηρήσεις στο περιβάλλον.

Κόκκινος ουρανός σημαίνει ότι θα φυσήξει

Μπλε ουρανός σημαίνει ότι θα έχει λιακάδα

Γκριζος ότι θα βρέξει

Μικρά άσπρα σύννεφα σημαίνει ζεστός καιρός

Πολλά άσπρα σημαίνει ότι πάει να χιονίσει

Σκούρα σύννεφα σημαίνει ότι θα βρέξει

Σκούρες μάζες σύννεφων σημαίνει ότι ίσως βρέξει

Γκριζος ουρανός και υψηλή θερμοκρασία, ίσως βρέξει

Ουράνιο τόξο σημαίνει ότι θα έχουμε λιακάδα

- Παρατηρήσεις στον Ήλιο και τη σελήνη.

Μικροί χρωματιστοί κύκλοι γύρω από το φεγγάρι (στέμμα) προμηνύει ισχυρό άνεμο.

Μεγάλος σκοτεινός κύκλος γύρω από το φεγγάρι προμηνύει βροχή.

- Παρατηρήσεις με προγνωστική αξία μεγάλης διάρκειας.

Την 20η Ιουλίου (εορτή του Προφήτη Ηλία) παρουσιάζεται στον ουρανό ένα σύννεφο που αν έχει κατεύθυνση από Δ. προς Α. ολόκληρος ο ερχόμενος χειμώνας θα είναι βαρύς. Αν δε από Ν. προς Β. ο χειμώνας θα είναι ελαφρύς.

Με τα λεγόμενα "ημερομήνια" οι μήνες από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάρτιο αντιπροσωπεύονται από τις 6 πρώτες ημέρες του Αυγούστου και ανάλογα με το καιρό τις ημέρες αυτές προβλέπεται ο καιρός κάθε μήνα.

Όταν ο καιρός μεταβληθεί στην αρχή ενός τετάρτου της σελήνης, θα διατηρηθεί όλο το τέταρτο και αν δεν μεταβληθεί κατά το αμέσως επόμενο τέταρτο θα διατηρηθεί επί τρία ακόμα τέταρτα.