

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ρωσσιάδου Κωνσταντία - Μαρία

ΘΕΜΑ

**Νέφη : Σχηματισμός – τύποι – επίδραση στο κλίμα –
τροποποίησή τους**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: Κυπαρίσση Απόστολου
Α.Γ.Μ:3577**

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας: 09/05/2017

Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
1	ΤΣΟΥΛΗΣ Νικ. ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ	ΠΛΟΙΑΡΧΟΣ		
2	ΡΩΣΣΙΑΔΟΥ Κων. ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΦΥΣΙΚΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΟΣ		
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :
Τσούλης Νικόλαος

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	σελ3
Εισαγωγή - Νερό στην ατμόσφαιρα.....	σελ 4
1.Σχηματισμός Νεφών.....	σελ 7
1.1Διαδικασίες ψύξης.....	σελ 8
1.2Συστήματα CCN.....	σελ 9
1.3Ανάλυση του τρόπου δημιουργίας του νέφους.....	σελ 10
2.Κατηγορίες νεφών.....	σελ 12
2.1Ανώτερα νέφη.....	σελ 13
2.2Μεσαία νέφη.....	σελ 16
2.3Κατώτερα νέφη.....	σελ18
2.4Νέφη ανοδικών ρευμάτων.....	σελ 20
3.Επίδραση στο κλίμα.....	σελ 23
3.1Όξινη βροχή.....	σελ 25
3.1.1Σχηματισμός της όξινης βροχής.....	σελ 25
3.1.2Όξινη βροχή νέας γενιάς.....	σελ 27
3.2Επιπτώσεις της όξινης βροχής στο περιβάλλον.....	σελ 27
3.3Αντιμετώπιση του προβλήματος.....	σελ 30
4.Τροποποίηση καιρού.....	σελ 32
4.1Σπορά νεφών.....	σελ 33
4.2Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.....	σελ 34
4.3Laser και ιονισμός της ατμόσφαιρας.....	σελ 35
4.4Γεωμηχανική.....	σελ 35
Βιβλιογραφία	

Περίληψη

Η παρούσα εργασία διεξήχθη στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας με θέμα «*Νέφη: Σχηματισμός – τύποι – επίδραση στο κλίμα – τροποποίησή τους*».

Το **1^ο κεφάλαιο** αναφέρεται στον κύκλο του νερού στην ατμόσφαιρα και στις διαδικασίες σχηματισμού των νεφών.

Στο **2^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι κατηγορίες των νεφών και η ταξινόμησή τους.

Στο **3^ο κεφάλαιο** μελετάται η επίδρασή των νεφών στο κλίμα και στην κλιματική αλλαγή. Επίσης αναλύεται ο τρόπος δημιουργίας της όξινης βροχής ,οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον αλλά και η μελλοντική μετάλλαξή της .

Το **4^ο κεφάλαιο** ασχολείται με την τροποποίηση της ατμόσφαιρας και των νεφών, με σκοπό τον έλεγχο των καιρικών φαινομένων, όπως και με τις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση χημικών στοιχείων, τη λεγόμενη τεχνική της «σποράς νεφών» και με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τέλος γίνεται μια αναφορά στη νέα επιστήμη της Γεωμηχανικής.

Εισαγωγή

Νερό στην ατμόσφαιρα

Το νερό στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάτμιση των υδάτινων επιφανειών της γης (ωκεανοί, θάλασσες, λίμνες, ποτάμια) ή την εξάχνωση του πάγου ή από την "αναπνοή" της χλωρίδας.

Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται κυρίως σε αέρια μορφή, αόρατη και ονομάζεται υδρατμός ή όταν συμπυκνωθεί σε υγρή ή στερεά μορφή. Συνήθως βρίσκεται μέχρι το ύψος των 10 km με ελάχιστες εξαιρέσεις νεφών με μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη που εισέρχεται στη στρατόσφαιρα.

Άρα, το νερό μέσα στην ατμόσφαιρα συναντάται σε τρεις καταστάσεις:

- Αέρια (αόρατο αέριο - υδρατμοί)
- Υγρή (βροχή και υδροσταγονίδια που συνθέτουν τα σύννεφα)
- Στερεά (χαλάζι και κρύσταλλοι πάγου που συνθέτουν τα σύννεφα και το χιόνι)

Οι τρεις αυτές φάσεις του νερού βρίσκονται σε συνεχή αλλαγή και η αλλαγή αυτή φάσεων ονομάζεται υδρολογικός κύκλος.

Η υγρασία αντιπροσωπεύει την ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται μέσα στον αέρα.

Μια αέρια μάζα δεν μπορεί να περιέχει παρά μια περιορισμένη ποσότητα υδρατμών. Αυτή η ποσότητα των υδρατμών είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και ποικίλει κάθε φορά.

Εφόσον επιτευχθεί αυτή η μέγιστη ποσότητα περιεκτικότητας υδρατμών στον αέρα, λέμε ότι ο αέρας είναι κεκορεσμένος και κάθε επιπλέον ποσότητα υδρατμών που προστίθεται συμπυκνώνεται (υγροποιείται).

Υπάρχουν δύο περιπτώσεις υγροποίησης μιας αέριας μάζας:

- Αυξάνοντας την ποσότητα των υδρατμών: πολύ βροχή ή πέραςμα μιας αέριας μάζας πάνω από θάλασσα
- Μειώνοντας τη θερμοκρασία, όπου αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τρόπο υγροποίησης. Η περίπτωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:
 - Η θερμοκρασία πέφτει σε σταθερή πίεση: Η θερμοκρασία στην οποία εμφανίζεται η υγροποίηση ονομάζεται θερμοκρασία σημείου δρόσου, η οποία παριστάνεται με τα γράμματα Dwp (DeW Point) . Κάθε επιπλέον ψύξη επιφέρει μια μεταβολή ενός μέρους των υδρατμών σε σταγόνες νερού (συμπύκνωση). Έτσι για παράδειγμα, τις νύχτες χωρίς σύννεφα και αέρα, το έδαφος και ο αέρας κοντά στο έδαφος ψύχονται αρκετά έτσι ώστε να επιτευχθεί η υγροποίηση και η συμπύκνωση. Αν τα υδροσταγονίδια αιωρούνται μέσα στον αέρα εμφανίζεται ομίχλη, ενώ αν βρίσκονται κοντά στο έδαφος πρόκειται για δροσιά. Αν οι θερμοκρασία έχει αρνητική τιμή, η συμπύκνωση γίνεται στη στερεά φάση (παγοκρύσταλλοι) και σχηματίζεται πάχνη.

- **Με ανύψωση:** Τα μόρια υφίστανται διαστολή ανεβαίνοντας στην ατμόσφαιρα, γιατί μειώνεται η πίεση. Η θερμοκρασία θα ελαττωθεί επίσης αδιαβατικά (χωρίς αφαίρεση θερμότητας αλλά από μηχανικά αίτια) και θα φτάσουμε στην υγροποίηση. Η αντίστοιχη θερμοκρασία είναι "η θερμοκρασία του σημείου συμπύκνωσης". Αν η θερμοκρασία ελαττωθεί ακόμα, θα φανούν υδροσταγονίδια να αιωρούνται στον αέρα, οπότε λοιπόν θα υπάρξει σχηματισμός νεφών.

Η θερμοκρασία του σημείου συμπύκνωσης είναι διαφορετική από εκείνη του σημείου δρόσου.

Σε όλη την έκταση της τροπόσφαιρας παρατηρείται ύπαρξη υδρατμών σε μεγάλες ή μικρές ποσότητες. Έτσι ο τροποσφαιρικός αέρας είναι πάντοτε υγρός αέρας.

Κύκλος του νερού

Ο **κύκλος του νερού** (γνωστός και ως **υδρολογικός κύκλος**) είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα και στη λιθόσφαιρα (έδαφος- υπέδαφος). Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας.



Ο κύκλος του νερού.

Ο κύκλος που ακολουθεί το νερό στην τροπόσφαιρα είναι ο εξής:

Το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια, ιδιαίτερα από ανοικτές υδάτινες επιφάνειες όπως ωκεανοί, θάλασσες, λίμνες. Αργότερα αυτό συμπυκνώνεται και από αόρατους υδρατμούς σχηματίζονται σύννεφα που αποτελούνται από υδροσταγονίδια ή παγοκρυστάλους ή και τα δύο. Από τα σύννεφα ο νετός σαν βροχή, χιόνι, χαλάζι επιστρέφει το νερό στην επιφάνεια για να ανανεωθεί έτσι ο κύκλος. Αρκετές αλλαγές της κατάστασης (αέρια, υγρή, στερεά) του νερού περιλαμβάνονται στον κύκλο.

Το νερό απορροφά θερμότητα για να γίνει αέριο. Η θερμότητα αυτή ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης και ισούται με 540 cal/gr στους 0°C. Όταν το νερό στην ατμόσφαιρα συμπυκνωθεί η θερμότητα αυτή απελευθερώνεται στην

ατμόσφαιρα και λέγεται λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης και έχει την ίδια τιμή με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.

Η χωρητικότητα του αέρα σε υδρατμούς, όπως προανέφερα δεν είναι απεριόριστη. Ένας συγκεκριμένος όγκος αέρα είναι κορεσμένος όταν έχει δεχτεί τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών, αλλιώς λέγεται ακόρεστος.

Η χωρητικότητα του ξηρού αέρα σε υδρατμούς (υροχωρητικότητα) εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία. Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας. Όσο πιο θερμός είναι ο αέρας τόσο περισσότερους υδρατμούς μπορεί να δεχτεί.

Με βάση την ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα η υγρασία ορίζεται ως:

- Απόλυτη υγρασία, όπου είναι πόσα γραμμάρια υδρατμών περιέχονται στη μονάδα όγκου του ατμοσφαιρικού αέρα
- Σχετική υγρασία, όπου είναι η μάζα των υδρατμών που υπάρχει στη μονάδα όγκου του αέρα προς τη μάζα των υδρατμών που απαιτείται για να είναι αυτός ο αέρας κορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία. Εκφράζεται %.

Ο κύκλος του νερού αποτελεί αντικείμενο του επιστημονικού κλάδου της Υδρολογίας για ό,τι συμβαίνει ή παρατηρείται στο έδαφος και της Μετεωρολογίας για ό,τι συμβαίνει εξ αυτού στην ατμόσφαιρα.

Ειδικότερα στη Μετεωρολογία, ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί το σπουδαιότερο καιρικό φαινόμενο ως σύνολο επιμέρους φαινομένων. Αυτός ρυθμίζει την υγρασία του εδάφους, τη λαμπρότητα της ημέρας, και τέλος τη συχνότητα και την ένταση των υδρομετεώρων (νετός), εκτός του γιγάντιου εκείνου έργου της μεταφοράς ενέργειας από τα μικρά στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

Από τη θάλασσα, τις λίμνες και τα ποτάμια εξατμίζεται κάθε λεπτό μια ποσότητα 1.000.000.000 (ένα δισεκατομμύριο) κυβικών μέτρων νερού που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνεται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης, εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με την πάροδο του χρόνου, μέρος του ξαναμπάνει στους ωκεανούς, όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" και "ξεκινάει" εκ νέου.

1. Σχηματισμός νεφών

Τα σύννεφα σχηματίζονται από ανοδικά ρεύματα αέρα που κατά την άνοδό τους προς την τροπόσφαιρα (μέχρι τα 15 km) ψύχονται αδιαβατικά, δηλαδή η ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα επέρχεται από την εκτόνωσή του και όχι από την εκπομπή θερμότητας στο περιβάλλον. Κατά την ψύξη, τα μόρια των υδρατμών «κολλούν» επάνω σε μικροσκοπικά σωματίδια της ατμόσφαιρας, τους πυρήνες, σχηματίζοντας τα υδροσταγονίδια των νεφών. Με τον τρόπο αυτό επέρχεται συμπύκνωση των υδρατμών όταν η θερμοκρασία αέρος βρεθεί κάτω του σημείου δρόσου του, και σχηματίζονται τα νέφη στα διάφορα ύψη της τροπόσφαιρας. Τα ανοδικά ρεύματα του αέρα χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- *Ορογραφικά*, τα οποία προκαλούνται από την παρεμβολή βουνών.
- *Μετωπικά*, τα οποία οφείλονται στην δημιουργία μετώπου από τη συνάντηση δύο διαφορετικών, από άποψη θερμοκρασίας και υγρασίας, αερίων μαζών, με αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμότερης αέριας μάζας.
- Ρεύματα που δημιουργούνται από την *υπερθέρμανση της επιφάνειας* του εδάφους ή της θάλασσας, που στη συνέχεια θερμαίνουν τον υπερκείμενο αέρα, τον κάνουν πιο ελαφρύ και προκαλούν την κατακόρυφη ανύψωση του και
- ρεύματα που δημιουργούνται από *στροβίλους*, που οφείλονται στην τριβή του ανέμου σε διάφορες εξάρσεις της επιφάνειας του εδάφους.

Το ύψος στο οποίο επέρχεται η ψύξη των υδρατμών καλείται *στάθμη συμπύκνωσης*. Στο ύψος ακριβώς αυτό, σχηματίζεται και η βάση των νεφών. Ο καθορισμός του ύψους αυτού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως όμως από την διαφορά θερμοκρασίας αέρος και δρόσου αυτού.

Τα υδροσταγονίδια από τα οποία αποτελούνται τα νέφη έχουν διάμετρο της τάξης του μικρόμετρου. Σύμφωνα με θερμομετρικές μετρήσεις, ο αέρας στα σύννεφα είναι ψυχρότερος από εκείνον που είναι γύρω τους.

Αρχικά θεωρείτο ότι οι υδροσταγόνες κατά την δημιουργία τους πληρούνται από ελαφρά αέρια, που είναι συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα π.χ. ήλιο ή υδρογόνο, γι' αυτό δεν κατακρημνίζονται αμέσως μετά τη δημιουργία τους. Η σωστή εξήγηση είναι ότι τα σταγονίδια αυτά, ακόμη και οι παγοκρύσταλλοι, είναι τόσο ελαφρά που το βάρος τους εξουδετερώνεται από την αντίσταση του αέρα. Σημειώνεται, πάντως, πως εκτός από τα ανοδικά ρεύματα του αέρα, που συγκρατούν ούτως ή άλλως τα σύννεφα, σε πολλές περιπτώσεις και μέσα στα σύννεφα κινείται ο αέρας από την βάση τους μέχρι την κορυφή τους. Έτσι, τα υδροσταγονίδια εξακολουθούν να αιωρούνται μέσα στην μάζα τους και, κατ' επέκταση, τα σύννεφα ως σύνολα αυτών στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Απλούστερη δημιουργία μικροσκοπικού νέφους είναι η εκπνοή των ανθρώπων ή των ζώων σε παγωμένο περιβάλλον.

1.1 Διαδικασίες ψύξης

Όπως είναι γνωστό, ένας όγκος αέρα είναι κορεσμένος από υδρατμούς όταν η σχετική του υγρασία είναι ίση με 100%. Στο σημείο αυτό υπάρχει συμπύκνωση η οποία εκδηλώνεται με την εμφάνιση νεφών όπου το νερό δεν είναι πλέον στην αέρια κατάσταση αλλά στην υγρή μορφή μικρών σταγόνων, ή στη στερεά με τη μορφή παγοκρυστάλλων που αιωρούνται.

Κάθε δημιουργία νεφών προϋποθέτει μια ψύξη του αέρα ικανή να προκαλέσει τη συμπύκνωση των υδρατμών.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί που προκαλούν την ψύξη του αέρα. Ο καθένας από αυτούς έχει διαφορετική σπουδαιότητα.

- Η μίξη δύο ακόρεστων όγκων υγρού αέρα, με διαφορετική θερμοκρασία καταλήγει μερικές φορές σε συμπύκνωση. Ο μηχανισμός αυτός δεν είναι μόνος του πολύ δραστικός και δεν μπορεί να δημιουργήσει έντονη νέφωση, γιατί οι μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας εκφράζονται απαραίτητα από μεγάλες διαφορές πυκνότητας του αέρα, ικανές να δημιουργήσουν έντονες αναταράξεις.
- Η ψύξη λόγω επαφής είναι σπουδαιότερη γιατί μπορεί να λάβει χώρα σε μεγάλη έκταση. Αντίθετα όμως αυτή η ψύξη αφορά πολύ λεπτά στρώματα αέρα. Η ψύξη λόγω επαφής δεν πραγματοποιείται κοντά στην επιφάνεια, αλλά μπορεί να λάβει χώρα καθ' ύψος, ιδιαίτερα στη στάθμη μιας αναστροφής θερμοκρασίας. Σε αυτή την περίπτωση η ψύξη εκδηλώνεται από ένα στρώμα νέφους μικρού πάχους.
- Η ψύξη λόγω ανοδικών κινήσεων και εκτόνωση αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό. Καθώς πρόκειται για όγκους αέρα πάρα πολύ μεγάλους όπου η συμπύκνωση γίνεται σε μεγάλο πάχος, ο μηχανισμός αυτός είναι υπεύθυνος για τις άφθονες βροχές. Τα αίτια των ανοδικών κινήσεων είναι πολυάριθμα και ελέγχουν την κατανομή των βροχών κατά τόπο και χρόνο, επάνω σε όλη την επιφάνεια του πλανήτη, διακρίνονται στους εξής τύπους:
 - **Τύπος ελεύθερης μεταφοράς:** Οι ανοδικές κινήσεις μπορούν να είναι είτε θερμικής προέλευσης όταν προκαλούνται από μια αστάθεια του αέρα λόγω της έντονης θέρμανσης στα κατώτερα στρώματα, είτε θερμοδυναμικής προέλευσης όταν καθ' ύψος υπάρχει ψυχρός αέρας που αυξάνει την αστάθεια και δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες. Ο τύπος αυτός των ανοδικών κινήσεων παρατηρείται ευρέως στην Ισημερινή ζώνη, σε όλο το πάχος της τροπόσφαιρας. Εκεί οι κατακόρυφες κινήσεις του αέρα οργανώνονται σε κύτταρα όπου δημιουργούνται στήλες με ανοδικές και στήλες με καθοδικές κινήσεις.
 - **Εξαναγκασμένη ανοδική κίνηση** λόγω μεταβολής της τραχύτητας του εδάφους. Οι ανοδικές κινήσεις αυτού του τύπου παρουσιάζονται κυρίως πλησίον των ακτών, όταν αέρια μάζα κινείται από τη θάλασσα προς την ξηρά. Επειδή όμως η επιφάνεια του εδάφους παρουσιάζει μεγαλύτερη τραχύτητα σε σχέση με εκείνη των υδάτων, η οριζόντια κίνηση της αέριας

μάζας θα παρουσιάζει τυρβώδη ροή με αποτέλεσμα τη μεταβολή της οριζόντιας ταχύτητας καθ' ύψος. Η επίδραση αυτή της ξηράς περιορίζεται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, στο <<οριακό στρώμα>>. Αποτέλεσμα της μεταβολής της οριζόντιας ταχύτητας καθ' ύψος είναι η εξαναγκασμένη ανοδική κίνηση. Το αντίθετο παρατηρείται όταν η αέρια μάζα κινείται από την ξηρά προς τη θάλασσα όπου έχουμε εξαναγκασμένη καθοδική κίνηση.

- **Ορογραφικές ανοδικές κινήσεις.** Και η ορογραφική ανοδική κίνηση χαρακτηρίζεται σαν εξαναγκασμένη με τη διαφορά ότι έχει πολύ μεγαλύτερη σπουδαιότητα για τη συμπύκνωση και τη δημιουργία βροχών από ότι ο προηγούμενος τύπος. Είναι ευνόητο ότι οι ορογραφικές κινήσεις αναπτύσσονται πολύ καλύτερα όταν η αέρια μάζα κινείται κάθετα σε σχέση με τον κύριο άξονα του αναγλύφου.
- **Ανοδικές κινήσεις λόγω σύγκλισης αέριων μαζών.** Η σύγκλιση των αέριων μαζών λαμβάνει χώρα στις υφέσεις, οι οποίες είναι κέντρα χαμηλών πιέσεων. Επειδή η σύγκλιση συσσωρεύει αέρα στο κέντρο της ύφεσης δημιουργούνται ανοδικές κινήσεις με ταυτόχρονη περιστροφή του αέρα αντίθετα με τους δείκτες του ρολογιού για το βόρειο ημισφαίριο. Κλασσικό παράδειγμα αποτελούν οι τροπικοί κυκλώνες.
- **Μετωπικές ανοδικές κινήσεις.** Είναι αυτές που δημιουργούνται κατά μήκος των μετωπικών συστημάτων (επιφάνεια ασυνέχειας). Η ένταση τους εξαρτάται από τις διαφορές των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων των αέριων μαζών που σχηματίζουν την επιφάνεια ασυνέχειας.

Οι δύο τελευταίοι τύποι ανοδικών κινήσεων, που στα μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη συνήθως συνυπάρχουν, μπορούν να χαρακτηριστούν ότι είναι καθαρά δυναμικής προέλευσης.

Εκτός από τις διεργασίες ψύξης του αέρα, για να σχηματιστούν σταγονίδια στην ατμόσφαιρα, θα πρέπει να υπάρχουν μέσα σε αυτήν υγροσκοπικά σωματίδια σε λεπτό διαμερισμό, γύρω από τα οποία θα συμπυκνωθούν οι υδρατμοί και θα σχηματίσουν υδροσταγονίδια. Τέτοια σωματίδια είναι τα περισσότερα από τα ατμοσφαιρικά αιωρήματα. Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης (CCN).

1.2 Συστήματα CCN

Οι πυρήνες συμπύκνωσης νέφους ή CCNs (cloud condensation nucleus) (επίσης γνωστοί ως σπόροι νέφους) είναι μικρά σωματίδια τυπικά 0,2 μm ή 1/100 του μεγέθους ενός σταγονιδίου σύννεφων στο οποίο συμπυκνώνεται υδρατμός. Το νερό απαιτεί μια μη αέρια επιφάνεια για να κάνει τη μετάβαση από ατμό σε υγρό, αυτή η διαδικασία ονομάζεται συμπύκνωση. Στην ατμόσφαιρα, αυτή η επιφάνεια

παρουσιάζεται ως μικροσκοπικά στερεά ή υγρά σωματίδια που ονομάζονται CCNs. Όταν δεν υπάρχουν CCNs, ο υδρατμός μπορεί να υπερψυχθεί στους περίπου -13°C (8°F) για 5-6 ώρες πριν σχηματιστούν αυθόρμητα σταγονίδια (αυτή είναι η βάση του θαλάμου νέφους για την ανίχνευση υποατομικών σωματιδίων). Στις υψηλότερες θερμοκρασίες κατάψυξης, ο αέρας θα πρέπει να είναι υπερκορεσμένος περίπου στο 400% πριν σχηματιστούν τα σταγονίδια.

Η έννοια των πυρήνων συμπύκνωσης νέφους χρησιμοποιείται στην σπορά σύννεφων, που προσπαθεί να ενθαρρύνει τη βροχόπτωση με σπορά του αέρα με πυρήνες συμπύκνωσης. Έχει επίσης προταθεί ότι η δημιουργία τέτοιων πυρήνων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη φωτεινότητα του θαλάσσιου σύννεφου, μια τεχνική κλιματολογικής μηχανικής.

Τα σύννεφα είναι ένας βασικός παράγοντας στο μετριασμό της αλλαγής κλίματος. Οι πυρήνες συμπύκνωσης σύννεφων (CCN) είναι εκείνα τα μόρια αερολύματος που μπορούν να διαμορφώσουν τα σταγονίδια σύννεφων. Με αυτό τον τρόπο, μια κατανόηση των συγκεντρώσεων των cloud condensation nucleus (CCNs) στο χώρο και το χρόνο είναι απαραίτητη για να προβλεφθεί ακριβώς το μέγεθος της σφαιρικής αλλαγής κλίματος. Ο μετρητής DMT CCN μετρά τη συγκέντρωση αυτών των μορίων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος ή στα αεροσκάφη. Ο μετρητής DMT CCN χρησιμοποιείται στα εργαστήρια για να μετρήσει με ποιο τρόπο τα διαφορετικά μόρια διαμορφώνουν τα σταγονίδια σύννεφων. Στα αστικά περιβάλλοντα χρησιμοποιείται για μελέτες πάνω στις επιπτώσεις που έχει η ρύπανση στο σύννεφο και στο σχηματισμό κατακρήμνισης.

1.3 Ανάλυση του τρόπου δημιουργίας του νέφους

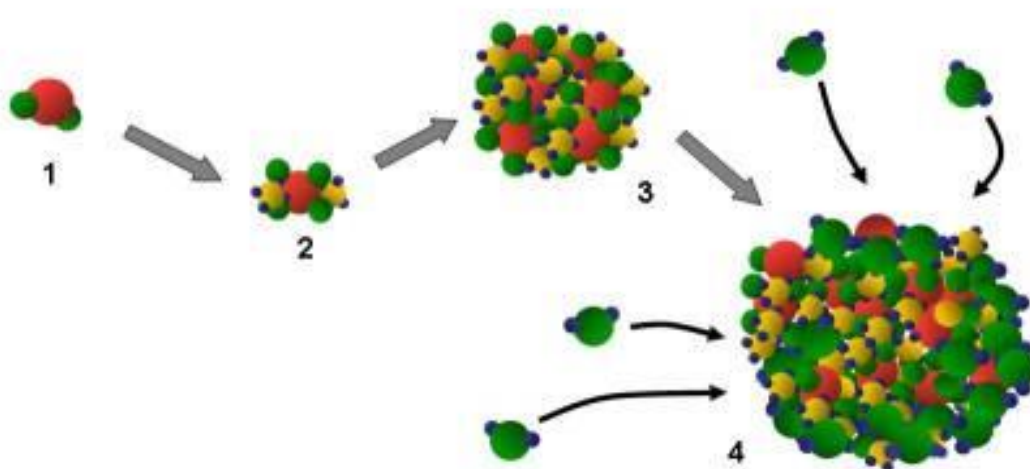
Τα σύννεφα δεν είναι ένα αδρανές μίγμα σταγονιδίων ύδατος (ή κρυστάλλων πάγου) και μορίων. Όταν ο αέρας διαποτίζεται με την υγρασία, ο υδρατμός αλλάζει φάση και μετατρέπεται σε υγρό ύδωρ. Η διαδικασία της συμπύκνωσης των υδρατμών ξεκινά με την συγκέντρωσή τους γύρω από πυρήνες συμπύκνωσης σύννεφων- CCN (ιόντα, μόρια ατμοσφαιρικού κονιορτού και άλλα σωματίδια).

Ο υδρατμός συλλέγεται από τους πυρήνες αυτούς στην ατμόσφαιρα. Οι υδροσταγόνες που σχηματίζονται με αυτό τον τρόπο υπόκεινται σε κινήσεις μέσα στο νέφος και σε μια διαλογή, που έχει ως αποτέλεσμα να συσσωρεύονται οι βαρύτερες προς τα κάτω μέχρι να πέσουν στη γη.

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ατμοσφαιρικών μορίων που μπορούν να ενεργήσουν ως CCN. Η προέλευσή τους μπορεί να είναι είτε από τη φύση είτε από ανθρωπογενή δραστηριότητα. Τα μόρια μπορεί να αποτελούνται από τη σκόνη, τον άργιλο, την αιθάλη από δασικές πυρκαγιές, το άλας της θάλασσας, από τον ωκεάνιο

ψεκασμό των κυμάτων, την αιθάλη από τις καπνοδόχους εργοστασίων, το θειικό άλας από την ηφαιστειακή δραστηριότητα και το φυτοπλαγκτόν.

Η δυνατότητα αυτών των διαφορετικών τύπων μορίων να διαμορφώσει τα σταγονίδια στα σύννεφα, ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθός τους και επίσης την ακριβή σύνθεσή τους, δεδομένου ότι οι υγροσκοπικές ιδιότητες αυτών των συστατικών είναι πολύ διαφορετικές. Για παράδειγμα το θειικό άλας και το άλας της θάλασσας απορροφούν πιο εύκολα το ύδωρ, ενώ η αιθάλη και ο οργανικός άνθρακας και τα ορυκτά μόρια όχι. Αυτό γίνεται πιο περίπλοκο από το γεγονός ότι πολλά από τα χημικά είδη μπορούν να αναμειχθούν μέσα στα μόρια, όπως π.χ. το θειικό άλας και ο οργανικός άνθρακας.



Οι μελέτες έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι από αυτούς τους πυρήνες είναι αερολύματα θειικού άλατος που προέρχονται και από ανθρωπογενές και από φυσικό περιβάλλον. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές εξουσιάζουν τον σφαιρικό προϋπολογισμό θείου. Οι φυσικές εκπομπές θείου είναι ακόμα ένα σημαντικό μέρος (30-100%) των συνολικών εκπομπών θείου στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου και σε όλες τις ζώνες γεωγραφικού πλάτους του νότιου ημισφαιρίου. Επίσης και τα οργανικά αερολύματα διαδραματίζουν ένα βασικό ρόλο στο σχηματισμό φυτρώων σύννεφων.

Η εισαγωγή των ανθράκινων παραχθέντων αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα αυξάνει τον αριθμό μορίων διαθέσιμων για να γίνουν CCNs. Κατά συνέπεια στις περιοχές που επηρεάζονται από τους ανθρωπογενείς ρίπους, τα οργανικά αερολύματα μπορούν να διαδραματίσουν έναν τόσο σημαντικό ρόλο όσο τα αερολύματα θειικού άλατος στον καθορισμό της επίδρασης κλίματος των σύννεφων. Επομένως, τα σύννεφα έχουν πιο πολλά και μικρότερα σταγονίδια ύδατος, τα οποία αυξάνουν την αντανάκλαστικότητα του σύννεφου που κάνει τα σταγονίδια ύδατος να διαρκούν περισσότερο.

2. Κατηγορίες νεφών

Το Νέφος (πληθυντικός: νέφη) ή σύννεφο (πληθυντικός: σύννεφα) (cloud) αποτελεί ορατό σύνολο υδρατμών, λεπτότατων υδροσταγονιδίων ή λεπτότατων παγοκρυστάλλων, ή συνδυασμό των προηγούμενων, που προέρχονται από την συμπύκνωση των υδρατμών που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα.

Το 1803 ο Βρετανός, φαρμακοποιός στο επάγγελμα και ερασιτέχνης μετεωρολόγος, Luke Havard (1772–1864) επινόησε την πρώτη ταξινόμηση των νεφών αναγνωρίζοντας, τρεις κύριους τύπους τους: τους Θυσάνους (Cirrus), τα Στρώματα (Stratus) και τους Σωρείτες (Cumulus).

Σύγχρονη ταξινόμηση

Η μορφή ενός νέφους εξαρτάται κυρίως από τις διαστάσεις, τον αριθμό και την κατανομή των νεφοσταγόνων ή παγοκρυστάλλων που το αποτελούν. Επίσης η μορφή του, εξαρτάται από τον φωτισμό και τη σχετική θέση του παρατηρητή.

Τα νέφη βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη και κατά συνέπεια παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ποικιλία μορφών. Είναι όμως δυνατό να καθοριστεί περιορισμένος αριθμός χαρακτηριστικών μορφών που να παρατηρούνται σε όλη την υδρόγειο.

Για την ταξινόμηση των νεφών λήφθηκαν υπόψη δύο στοιχεία και διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους και με βάση το ύψος που αυτά βρίσκονται.

Γενικά τα νέφη βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και αλλαγή του σχήματός τους. Και η ασθενέστερη ακόμη ανοδική κίνηση τα συγκρατεί αιωρούμενα. Στην πραγματικότητα, όμως, αυτά κατέρχονται, λόγω του βάρους τους, με πολύ όμως μικρή ταχύτητα που φθάνει το ένα μέτρο ανά λεπτό. Γενικά οι ονομασίες των νεφών έχουν δοθεί έτσι ώστε να περιγράφεται το είδος και το σχήμα τους. Συχνά προ της κυρίας ονομασίας προστίθενται ορισμένα προθέματα. Τα προθέματα αυτά είναι τρία Σχισμένο (Fracto) που προστίθεται όταν το νέφος έχει σχιστεί και τεμαχιστεί από πνέοντες ανέμους. Ύψος (Alto) που προστίθεται στα "Μέσα νέφη", και το πρόθεμα Μελανίας (Nimbus) που προστίθεται σε νέφη που θα δώσουν βροχές ή χιόνια.

Στην πρώτη κατηγορία ταξινομούνται τα νέφη ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του. Τα νέφη ταξινομούνται σε:

- **Σωρείτες ή Σωρειτόμορφα Νέφη:** Χαρακτηρίζονται όλα εκείνα που έχουν μορφή σωρού. Αυτά σχηματίζονται όταν ο υγρός αέρας αναγκάζεται ν' ανυψωθεί γρήγορα. Αυτό συμβαίνει π.χ. στις περιόδους ισχυρών ανοδικών θερμικών ρευμάτων. Συμβαίνει επίσης όταν θερμός αέρας αναγκάζεται σε άνοδο από ψυχρό αέρα που εισβάλλει τάχιστα όπως στα ψυχρά μέτωπα. Γενικά παρουσιάζουν μικρή βάση σε σχέση με το μεγάλο ύψος τους. Τα σωρειτόμορφα νέφη χαρακτηρίζονται από την μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη

τους, είναι νέφη ανοδικών ρευμάτων και προέρχονται από την αστάθεια της ατμόσφαιρας.

- **Στρώματα ή Στρωματόμορφα Νέφη:** Χαρακτηρίζονται όλα εκείνα που έχουν μορφή στρώματος. Αυτά σχηματίζονται όταν ο υγρός αέρας ανυψώνεται με μικρότερη ταχύτητα από ότι συμβαίνει στα σωρειτόμορφα νέφη. Αυτό συμβαίνει π.χ. στα θερμά μέτωπα ή όταν ο ασταθής αέρας αναγκάζεται να ανυψωθεί λόγω πρόσκρουσής του σε οροσειρές ή σε υψηλές απόκρημνες ακτές. Στρωματόμορφα νέφη σχηματίζονται επίσης, όταν λόγω του μεγέθους των στροβίλων ο αέρας κατορθώνει να ανυψωθεί μέχρι του ύψους που μπορεί να επέλθει η συμπύκνωση των υδρατμών του. Γενικά παρουσιάζουν μεγάλη βάση σε οριζόντια έκταση σε σχέση με το ύψος. Τα στρωματόμορφα νέφη εκτείνονται οριζόντια και παρουσιάζουν συνήθως μεγάλη κάλυψη του ουρανού.

Στην δεύτερη κατηγορία τα νέφη ταξινομούνται ανάλογα με το ύψος της παρατήρησης, δηλαδή τα νέφη ταξινομούνται με το ύψος της βάσης τους. Επομένως ταξινομούνται σε:

- Ανώτερα νέφη
- Μέσα ή Μεσαία νέφη
- Κατώτερα νέφη
- Νέφη ανοδικών ρευμάτων

2.1 Ανώτερα νέφη

Τα ανώτερα νέφη σχηματίζονται σε ύψος 6.000 - 12.000 μέτρα. Θεωρούνται με την εμφάνισή τους ως αγγελιαφόροι μεταβολής του καιρού. Δεν προκαλούν νετό, γιατί οι μικροί παγοκρύσταλλοι όταν φύγουν από το νέφος εξατμίζονται ή απορροφώνται από τα κατώτερα θερμότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και δεν προλαβαίνουν να φτάσουν στην επιφάνεια της γης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τρεις ομάδες νεφών:

- οι θύσανοι
- οι θυσανοσωρείτες
- τα θυσανοστρώματα.

Και οι τρεις αυτές ομάδες των ανωτέρων νεφών αποτελούνται από πολύ λεπτούς παγοκρυστάλλους.

Ως **θύσανοι** (*Cirrus*, Ci) χαρακτηρίζονται τα ανώτερα λευκά νέφη που φαίνονται σαν μεταξωτά. Μοιάζουν σαν οριζόντια λευκά φτερά ή σαν δέσμη από λεπτά και λευκά νήματα ή και σαν αλογοουρές. Έχουν σχήμα λεπτού νήματος και μετακινούνται γενικά σε πλάτος. Το πάχος τους είναι μικρό και δεν κρύβουν ποτέ εντελώς τον ήλιο. Πριν από την ανατολή και την δύση του Ηλίου έχουν χρώμα κιτρινοκόκκινο και όταν ο Ήλιος βρεθεί κάτω από τον ορίζοντα παίρνουν χρώμα καφέ. Είναι τόσο λεπτοί που αν βρίσκονται μπροστά από τον δίσκο του Ήλιου οι ακτίνες του δεν εξασθενούν. Είναι διατεταγμένοι κατά στενές δέσμες και όταν

παρασύρονται από τους ανέμους γίνονται κατσαροί. Οι Θύσανοι σχηματίζονται σε ύψος 8.000 - 12.000 μέτρων με μικρή σχετικά οριζόντια έκταση. Αποτελούνται εξ ολοκλήρου από παγοκρυστάλλους. Η διεθνής σύντμησή τους είναι Ci.



Οι **θυσανοσωρείτες** (*Cirrocumulus, Cc*) είναι λεπτά, λευκά πετρόμορφα, ψηλά νέφη που δεν δημιουργούν σκιές. Έχουν γενικά σχήμα σφαιρικό, δεν καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση στον ουρανό και μοιάζουν πολύ με μικρά κύματα σε σειρές. Όταν είναι πολλά μαζί και κοντά μεταξύ τους μοιάζουν και σαν κοπάδι από πρόβατα. Είναι ασταθή σύννεφα με αναταράξεις και σφοδρούς ανέμους. Συχνά σχηματίζουν και σειρές από ρυτίδες ή σαν τους κυματισμούς που παρουσιάζει η λεπτή άμμος του βυθού κοντά στις ακτές. Αποτελούνται από λεπτούς παγοκρυστάλλους και βρίσκονται σε ύψος 6.000-12.000 μέτρα. Η παρουσία των θυσανοσωρειτών γενικά προαναγγέλλει ένα θερμό μέτωπο. Η διεθνής σύντμησή τους είναι Cc.



Τα **Θυσανοστρώματα** (*Cirrostratus*, *Cs*) είναι λεπτά και ψηλά νέφη που μοιάζουν με στρώματα διαφανή, αρκετά εκτεταμένα στον ουράνιο θόλο με υπόλευκη ινώδη ή λεία όψη ή με πέπλα. Σχηματίζουν μεγάλο φωτεινό κύκλο με τα χρώματα της ίριδας γύρω από τον Ήλιο, την ηλιακή άλω ή την σεληνιακή άλω. Ο φωτεινός αυτός κύκλος είναι το αποτέλεσμα από τη διάθλαση που υπόκεινται οι ακτίνες του Ήλιου ή της Σελήνης καθώς προσπίπτουν στους παγοκρυστάλλους τους. Όπως οι Θύσανοι και οι Θυσανοσφορείτες έτσι και τα Θυσανοστρώματα σχηματίζονται σε ύψος 6.000 - 12.000 μέτρα. Είναι πιο ευδιάκριτα των άλλων επειδή σχηματίζουν πέπλο με μεγάλη έκταση. Όταν αρχίζουν να πυκνώνουν τότε συνήθως ακολουθεί βροχή. Η διεθνής σύντμυσή τους είναι *Cs*.



2.2 Μεσαία Νέφη

Τα νέφη αυτά σχηματίζονται σε ύψος 2000 - 6000 μέτρα και αποτελούνται μόνο από υδροσταγονίδια. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν δύο βασικές ομάδες νεφών:

- οι Υψισωρείτες
- τα Υψιστρώματα.

Ως **Υψισωρείτες** (Alto cumulus, Ac) χαρακτηρίζονται τα σύννεφα με σφαιρικό σχήμα. Είναι σωρειτόμορφα νέφη λευκά ή φαιά με βάση μικρή και μορφή μικρού ελάσματος ή κυλίνδρων. Το χρώμα τους είναι υπόλευκο - γκριζό. Παρουσιάζονται είτε κατά σειρές είτε κατά ομάδες. Μοιάζουν (λόγω σχήματος) με τους θυσανοσωρείτες. Ξεχωρίζουν όμως από τον πολύ μεγάλο σφαιρικό τους όγκο. Είναι συνήθως ασταθή νέφη και παρουσιάζουν ανάπτυξη σε σχήμα πύργων ή νιφάδων σε σχήμα σωρείτη. Παρουσιάζονται πριν από την καταιγίδα, αποτελούνται από υδροσταγονίδια και δημιουργούν αναταράξεις. Αποτελούνται από υδροσταγονίδια για αυτό και δεν παρουσιάζουν άλω, δηλαδή κύκλο γύρω από τον Ήλιο ή την Σελήνη. Το ύψος που βρίσκονται οι υψισωρείτες είναι 2.500 - 6.000 μέτρα. Μια μορφή τους, τα φακοειδή σύννεφα συχνά αναφέρονται ως ΑΤΙΑ. Η διεθνής σύντμηση τους είναι Ac.



Τα Υψιστρώματα (Altostratus, As) είναι νέφη που παρουσιάζονται σαν πυκνά πέπλα με χρώμα ανοικτό γκριζο προς το γαλάζιο, ομοιόμορφα και αποτελούνται από υδροσταγονίδια. Εμφανίζονται με μεγάλη οριζόντια έκταση μήκους μερικών δεκάδων ή και εκατοντάδων χιλιομέτρων. Δεν παρουσιάζουν φαινόμενο άλω. Βρίσκονται σε ύψος 2.000-6.000 μέτρα. Από τα λεπτότερα υψιστρώματα μόλις που διακρίνονται οι φωτεινοί δίσκοι του Ήλιου ή της Σελήνης. Αν τα υψιστρώματα πληθαίνουν πιθανώς αυτό να φανερώνει επικείμενη βροχή διάρκειας. Η διεθνής σύντμηση τους είναι As.



2.3 Κατώτερα Νέφη

Η βάση αυτών των νεφών βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της Γης και το ύψος τους φθάνει τα 2.500 μέτρα. Στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται τρεις ομάδες νεφών:

- τα Στρώματα
- τα Μελανοστρώματα
- οι Στρωματοσωρείτες.

Τα Στρώματα (Stratus, St) είναι γκριζα, με βάση ακαθόριστη, ομοιόμορφα, μοιάζουν με στρώματα και στη βάση και στη κορυφή τους. Ο ουρανός, όταν σκεπάζεται από τα στρώματα, είναι θαμπός, γκριζός και βαρύς σαν μολυβένιος. Αυτά τα νέφη βρίσκονται σε ύψος κάτω των 2.500μέτρων. Αποτελούνται από μικρές υδροσταγόνες ή και από λεπτούς πρισματικούς κρυστάλλους, ειδικά όταν επικρατεί χαμηλή θερμοκρασία. Τότε μπορεί ενδεχομένως να παρατηρηθεί και το φαινόμενο της ηλιακής άλω. Έχουν την μορφή της ομίχλης και πολλές φορές προέρχονται από αυτήν που έχει θερμανθεί και ανέρχεται. Από τα πραγματικά "στρώματα νέφη" πέφτουν μόνο ψιχάλες βροχής. Επίσης σε αυτά τα νέφη δεν παρατηρούνται ανοδικές κινήσεις ή αν υπάρξουν είναι ελάχιστες. Είναι επικίνδυνα για την αεροπορία. Το καλοκαίρι, στις υγρές περιοχές, σχηματίζονται συχνά το πρωί stratus που διαλύονται στο τέλος του πρωινού, εφόσον η θερμοκρασία της Γής αυξηθεί. Η διεθνής σύντημσή τους είναι St.



Τα Μελανοστρώματα (Nimbostratus, Ns) είναι στρώματα που αποτελούνται από νέφη τόσο πυκνά που ο Ήλιος ούτε καν ξεχωρίζει. Το χρώμα τους είναι πολύ γκρίζο και πάρα πολύ σκοτεινό σε σύγκριση με όλα τα άλλα είδη νεφών. Συνήθως καλύπτουν όλο τον ουρανό και το ύψος τους είναι από 2.500 - 6.000 μέτρα. Λόγω του μεγάλου πάχους τους, η βάση τους είναι πολύ σκοτεινή. Έχουν εμφάνιση υγρή και από μακριά διαφαίνονται οι σκοτεινές γραμμές βροχής που φτάνουν συχνά μέχρι το έδαφος. Αυτά είναι πραγματικά σύννεφα βροχής. Όταν υφίσταται άνεμος πιθανόν να δείχνουν κομματιασμένα και να κινούνται με μεγάλη ταχύτητα. Θεωρούνται σύννεφα με συνεχείς βροχές, χιόνια ή ακόμα και χαλάζι. Η διεθνής σύντμησή τους είναι Ns.



Οι Στρωματοσωρείτες (Stratocumulus, Sc) είναι νέφη με χρώμα γκρίζο και υπόλευκο με ασαφή σκοτεινά τμήματα. Παρουσιάζονται αρκετά επικίνδυνα για την αεροπορία, εξαιτίας της χαμηλής οροφής που σχηματίζουν και της περιορισμένης φωτεινότητας της περιοχής κάτω από αυτά. Συνήθως αποτελούν μάζες κυλινδρικών νεφών με όψη κυλινδρικού φουσκωτού στρώματος. Αυτά τα νέφη βρίσκονται σε ύψος κάτω των 2.000 μέτρων. Εμφανίζονται σε γραμμές κατά ομάδες ή σε κύματα. Πολλές φορές μοιάζουν με τους σωρείτες λόγω των ανοδικών τους κινήσεων. Αυτά τα νέφη δεν παράγουν βροχή, αλλά καμιά φορά μετατρέπονται σε μελανοστρώματα που είναι πλέον σύννεφα βροχής. Επίσης όταν είναι πυκνά παρουσιάζουν ιριδισμούς όπως οι υψισωρείτες. Αποτελούνται κυρίως από υδροσταγονίδια και σπανιότερα από χιονοκόκκους και πολύ πολύ σπάνια από κρυστάλλους χιονιού. Η διεθνής σύντμησή τους είναι Sc.



2.4 Νέφη Ανοδικών Ρευμάτων

Στο γένος αυτό κατατάσσονται νέφη τα οποία χαρακτηρίζονται για την εκτεταμένη κατακόρυφη δομή τους. Η βάση των νεφών αυτών μπορεί να ξεκινάει ακόμα και κάτω από τα 2km, ενώ η κορυφή τους μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να φτάσει και τα 10000 – 12000 μέτρα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν:

- οι Σωρείτες
- οι Σωρειτομελανίες.

Οι Σωρείτες (Cumulus, Cu) είναι πυκνά νέφη με καθαρό περίγραμμα που το σχήμα τους μεταβάλλεται σταθερά. Άλλοτε μοιάζουν σαν λόφοι από αναχώματα ή σαν λευκοί θόλοι, όπως το κουνουπίδι και άλλοτε σαν τούφες από βαμβάκι. Όταν οι ακτίνες του Ήλιου πέσουν πάνω σε σωρείτες αυτές ανακλώνται με μεγάλη ένταση ενώ τα ίδια φαίνονται κατάλευκα και λάμπουν έντονα. Αποτελούνται από υδροσταγονίδια, αν και σε μερικά τμήματά τους όταν παρουσιάσουν θερμοκρασία κάτω από 0 °C μπορεί να σχηματίσουν παγοκρυστάλλους. Το ύψος της βάσης τους είναι κατά μέσο όρο στα 2.500 μέτρα, επομένως ανήκουν στα λεγόμενα χαμηλά νέφη. Οι σωρείτες μπορούν να έχουν πάχος εξαιρετικά μεγάλο, από μερικά δεκάδες μέτρων σε αρκετά χιλιόμετρα. Συνήθως σχηματίζονται την ημέρα, όταν στη ξηρά υφίσταται θερμός αέρας που ανυψώνεται, καθώς απαιτούνται ανοδικά ρεύματα για τον

σχηματισμό τους. Αντιστρόφως, κατά την διάρκεια της νύκτας, οι σωρείτες κατά κανόνα εξαφανίζονται.



Οι Σωρειτομελανίες (Cumulonimbus, Cb) είναι νέφη συνήθως ογκώδη και πυκνά. Η βάση τους σχεδόν ακουμπά στο έδαφος. Μοιάζουν περισσότερο με βουνά ή τεράστιους πύργους. Ένα τμήμα της κορφής τους κάποιες φορές παρουσιάζει οριζόντια ινώδη μορφή που μοιάζει με αμόνι. Η μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξή τους οφείλεται στα βίαια ανοδικά ρεύματα του αέρα, που ανυψώνουν τις κορυφές τους ακόμα και ως τα 15.000 μέτρα, εκτεινόμενα έτσι και μέσα στην τροπόπαυση ενώ η βάση τους είναι πολύ χαμηλότερα. Είναι ασταθή και τα μεγαλύτερα νέφη. Σχηματίζονται κυρίως στις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού τότε που οι κορυφές τους μοιάζουν σαν να κοχλάζουν κατά την συνεχή ανύψωσή τους. Έτσι μέσα σε αυτή την τεράστια μάζα τους παρατηρούνται ανοδικά και καθοδικά αέρια ρεύματα που μεταφέρουν υδροσταγόνες ή παγοκρυστάλλους αντίστοιχα ή και χαλάζι. Η διεθνής σύντμησή τους είναι Cb.



3. Επίδραση στο κλίμα

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την κατανομή των νεφών, με τρόπους που θα μπορούσαν είτε να επιβραδύνουν την παγκόσμια υπερθέρμανση είτε να την επιταχύνουν. Μεγάλες επιστημονικές ομάδες έχουν αναπτύξει πάνω από 20 πολυσύνθετα κλιματικά μοντέλα και τα έχουν δοκιμάσει σε σύγκριση με τα πλούσια σήμερα κλιματολογικά δεδομένα. Όλα τα μοντέλα προβλέπουν τη θέρμανση του πλανήτη με βάση τις συνεχιζόμενες εκλύσεις αερίων του θερμοκηπίου, αλλά παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με την επίδραση των νεφών. Αυτό σταδιακά αλλάζει, καθώς οι προσομοιώσεις αρχίζουν να συγκλίνουν και στον τομέα αυτόν. Ταυτόχρονα, οι παρατηρήσεις και οι μετρήσεις από δορυφόρους αποκαλύπτουν πως η αλλαγή στα χαρακτηριστικά της νεφοκάλυψης επιδρά στο παγκόσμιο κλίμα.

Τα είδη νεφών είναι πολλά, αλλά δύο είναι οι βασικές τους ιδιότητες που ενδιαφέρουν περισσότερο: Το ύψος τους πάνω από το έδαφος και η διαφάνειά τους. Τα σύννεφα σε μεγάλο ύψος, στα ανώτερα κρύα στρώματα της ατμόσφαιρας, παγιδεύουν τη θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνεια και επανεκπέμπουν προς αυτή ένα μέρος της. Κατ' αυτόν τον τρόπο τη θερμαίνουν. Αν υπήρχαν λιγότερα, η ατμόσφαιρα θα ήταν πιο κρύα. Αντίθετα, τα «βαριά» χαμηλά νέφη εμποδίζουν το φως του ήλιου να φτάσει έως την επιφάνεια, ψύχοντας τον πλανήτη. Με το κλίμα όπως έχει σήμερα, αυτή η επίδραση είναι ισχυρότερη από τη συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου των μεγαλύτερου ύψους νεφών.

Μικρές αλλαγές στα σύννεφα μπορούν να έχουν μεγάλες επιπτώσεις. Περισσότερα ψηλά νέφη και η Γη θα θερμανθεί. Περισσότερα πυκνά χαμηλά νέφη και η Γη θα ψυχθεί. Αλλά σημασία έχει και η κατανομή τους. Αν τα πυκνά χαμηλά νέφη που τώρα καλύπτουν κυρίως τους τροπικούς (εκεί που υπάρχει η ισχυρότερη ηλιακή ακτινοβολία) μετακινηθούν πιο βόρεια, τότε το ψυκτικό τους αποτέλεσμα θα είναι μικρότερο. Αλλά και η αλλαγή του υψομέτρου των νεφών μεταβάλλει την εικόνα. Αν τα νέφη μεγάλου ύψους μετακινηθούν ακόμη ψηλότερα στην ατμόσφαιρα, η θερμαντική τους επίδραση θα αυξηθεί. Αύξηση της θερμοκρασίας θα αλλάξει και τη σύνθεση των νεφών, έτσι που να περιέχουν μικρότερη αναλογία παγοκρυστάλλων σε σχέση με τα υγρά σταγονίδια. Τα πιο «υγρά» νέφη θα είναι πιο πυκνά και έτσι θα εμποδίζουν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα το ηλιακό φως να φτάσει έως το έδαφος, ενισχύοντας το ψυκτικό αποτέλεσμα που προκαλούν.

Όλες αυτές οι αλληλεπιδράσεις γίνονται ταυτόχρονα. Άλλες έχουν ισχυρή θετική επίπτωση, δηλαδή ενισχύουν σημαντικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Άλλες έχουν ανατροφοδοτήσεις με ελαφρά αρνητική επίδραση (επιβραδύνουν το φαινόμενο). Απ' αυτό προέρχεται η διακύμανση στην πρόβλεψη θέρμανσης από 2 έως 4,5°C . Τα μοντέλα δυσκολεύονται να εκτιμήσουν την επίδραση των νεφών γιατί δεν υπάρχει η απαραίτητη υπολογιστική ισχύς για να προσομοιωθεί η κίνηση κάθε στοιχειώδους

συστατικού τους σε παγκόσμια κλίμακα. Τα σύννεφα δημιουργούνται από μικροσκοπικά σταγονίδια και παγοκρυστάλλους, αλλά καλύπτουν καθημερινά περίπου το 70% της επιφάνειας του πλανήτη. Τα μοντέλα για το παγκόσμιο κλίμα προσπαθούν να υπολογίσουν απλές μακροσκοπικές παραμέτρους του, χρησιμοποιώντας τους νόμους της φυσικής της ατμόσφαιρας και βελτιώνονται με συγκρίσεις με τα αποτελέσματα των υψηλότερης ανάλυσης μοντέλων, που «τρέχουν» σε υπερυπολογιστές για μικρές περιοχές της υδρογείου.

Ειδικοί εκτιμούν ότι τα ψηλά νέφη θα ανέβουν ψηλότερα στην ατμόσφαιρα, ενώ τα πυκνά χαμηλά νέφη θα μειωθούν, εξελίξεις που, και οι δύο, οδηγούν σε υπερθέρμανση. Επιπλέον, λόγω του φαινομένου της αρκτικής ενίσχυσης, που αφορά την ταχύτερη θέρμανση των πολικών περιοχών συγκριτικά με τους τροπικούς και δείχνει να αποτυπώνεται στη μείωση των πάγων ιδίως στο Βόρειο Πόλο, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στους πόλους και στον ισημερινό θα μειωθεί. Αυτό θα έχει συνέπεια αφενός τη διεύρυνση της τροπικής ζώνης και αφετέρου τη μετακίνηση της ζώνης των ερήμων προς τους πόλους. Η Μεσόγειος, το Σαχέλ (μεταξύ Σαχάρας και σαβάνας) και οι νοτιοδυτικές περιοχές των ΗΠΑ θα γίνουν πιο ξηρές. Τα νέφη που θα μετακινηθούν βορειότερα θα ανακλούν λιγότερη ακτινοβολία. Ήδη η μετακίνηση των ζωνών υετού, που προβλέπεται από τα μοντέλα, αποτυπώνεται στα δεδομένα, που καταγράφουν οι δορυφόροι.

Ιδιαίτερα χρήσιμα αποδεικνύονται τα στοιχεία από τους δορυφόρους «CloudSat» και «CALIPSO». Ο πρώτος χρησιμοποιεί ραδιοκύματα, που διαπερνούν τα λεπτά νέφη μεγάλου υψόμετρου και επιτρέπουν μετρήσεις των χαμηλών πυκνών νεφών, που βρίσκονται από κάτω τους. Ο δεύτερος χρησιμοποιεί ραντάρ (lidar) για να αποκαλύψει την αναλογία παγοκρυστάλλων και σταγονιδίων στα νέφη. Οι μετρήσεις δείχνουν ότι τα νέφη μεγάλου υψόμετρου τείνουν να ανέβουν ψηλότερα, τροφοδοτώντας θετικά την υπερθέρμανση, ενώ πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι λίγα απ' αυτά έγιναν πιο «υγρά» (περισσότερα σταγονίδια), μειώνοντας τις ελπίδες για περιορισμό της υπερθέρμανσης μέσω αυτής της διαδικασίας.

Μελετώντας δορυφορικά δεδομένα μεταξύ 1984 και 2009, οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι οι νεφοκαλύψεις στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη μετακινούνται προς τους πόλους, όπως προβλέπουν τα μοντέλα. Επιπλέον, «τρέχοντας» τα μοντέλα χωρίς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την ανθρώπινη δραστηριότητα, προέκυψε ότι οι φυσικές διακυμάνσεις δεν μπορούν να εξηγήσουν από μόνες τους τις μετρήσεις. Και οι τιμές που μετρήθηκαν ήταν ακόμη μεγαλύτερες από εκείνες που πρόβλεπαν τα μοντέλα. Η επιστημονική κοινότητα αξιολογεί τα δεδομένα αυτά και εξετάζει αν και σε ποιο βαθμό θα μπορούσαν να εξηγηθούν από άλλους παράγοντες, όπως η εκτίναξη μεγάλων ποσοτήτων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από την έκρηξη του ηφαιστείου Πινατούμπο το 1991, ή συνδυασμό τέτοιων παραγόντων με τις φυσικές διακυμάνσεις. Εκείνο που μοιάζει σίγουρο, είναι ότι τα σύννεφα δε φαίνονται ικανά να βοηθήσουν στην επιβράδυνση της υπερθέρμανσης.

3.1 Όξινη βροχή

Η όξινη βροχή είναι ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας. Με τον όρο «όξινη βροχή» (*acidrain*) εννοούμε τη βροχή και γενικότερα όλες τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις όπως το χιόνι και το χαλάζι με pH (**ενεργό οξύτητα**) χαμηλότερο του φυσιολογικού. Η βροχή, στη φυσική της κατάσταση (*cleanrain*), είναι ελαφρά όξινη με pH μεταξύ 5.0 και 5.6 και αυτό οφείλεται κυρίως στο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) της ατμόσφαιρας, το οποίο διαλύεται στο νερό της βροχής και σχηματίζει το ανθρακικό οξύ και, σε μικρότερη έκταση, στην ύπαρξη χλωρίου στην ατμόσφαιρα, το οποίο προέρχεται από τη θάλασσα.

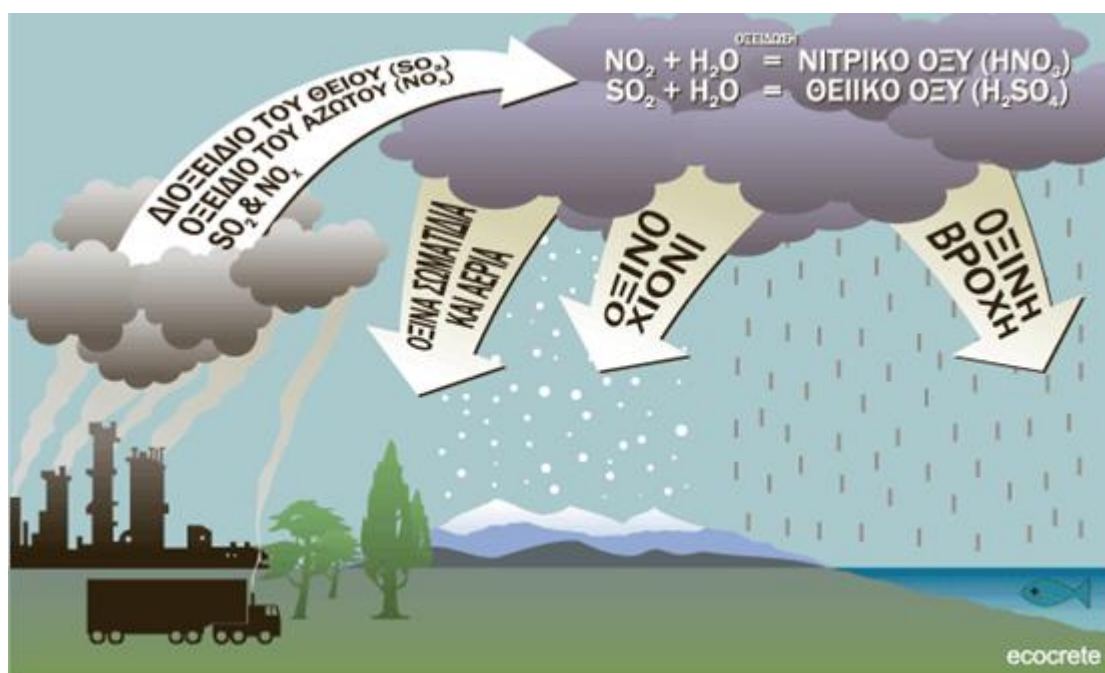
Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, η βροχή γίνεται όλο και περισσότερο όξινη και το pH της κυμαίνεται από 3,5 έως 4,5. Βροχή με pH 4,6 είναι 10 φορές πιο όξινη από βροχή με pH 5,6. Η αυξημένη οξύτητα οφείλεται συνήθως σε νιτρικά και θειικά οξέα τα οποία συνήθως προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Τον όρο χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το 1852, ο Άγγλος χημικός, Robert Angus Smith, για να περιγράψει τον όξινο χαρακτήρα των βροχοπτώσεων σε σχέση με τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα του Λονδίνου από τις εκπομπές των εργοστασίων που έκαιγαν κάρβουνο. Το 1982, σε ειδική συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών, η όξινη βροχή αναγνωρίστηκε ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα διασυνοριακής ρύπανσης.

3.1.1 Σχηματισμός της όξινης βροχής

Η κυριότερη αιτία σχηματισμού της όξινης βροχής είναι η καύση των ορυκτών καυσίμων. Η βιομηχανία και οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιούν άνθρακα και πετρέλαιο, για να καλύψουν τις ανάγκες μας σε ενέργεια. Οι ιδιώτες χρησιμοποιούν πετρέλαιο, άνθρακα, ξύλα ή φυσικό αέριο για τη θέρμανση των σπιτιών. Αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα και πλοία χρησιμοποιούν βενζίνη και άλλα ορυκτά καύσιμα. Σε μικρότερο βαθμό συμβάλλουν και φυσικά αίτια, όπως οι πυρκαγιές, οι εκρήξεις των ηφαιστείων, που εκπέμπουν διοξείδιο του θείου (SO_2) στην ατμόσφαιρα, αλλά και το πλαγκτόν από το οποίο απελευθερώνονται ποσότητες θειούχας ένωσης (διμεθυλοσουλφιδίου) που στην ατμόσφαιρα διασπάται φωτοχημικά και τελικά οξειδώνεται σε SO_2 .

Οι κύριοι ρύποι που δημιουργούν την όξινη βροχή είναι το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου. Ανεβαίνοντας, λοιπόν, οι ρύποι στην ατμόσφαιρα αντιδρούν με τους υδρατμούς της και το νερό της βροχής, και σχηματίζουν αντίστοιχα οξέα, όπως

θειικό και νιτρικό. Αυτά τα οξέα μετατρέπουν τη βροχή σε όξινη. Στη Δυτική Βιρτζίνια μετρήθηκε οξύτητα της βροχής με pH 1,5 ή περίπου 10.000 φορές μεγαλύτερη από την οξύτητα της φυσικής βροχής. Αυτή η οξύτητα ήταν μεγαλύτερη από την οξύτητα χυμού λεμονιού. Το 1974 στη Σκωτία μια θύελλα έφερε βροχή οξύτητας με pH 2,4 που αντιστοιχεί σε πολύ σκληρό ξύδι. Εκτός από το νερό της βροχής επηρεάζονται από τους ρύπους, το χιόνι, η ομίχλη και το χαλάζι, τα οποία όταν πέφτουν στη γη, ρυπαίνουν το έδαφος και τα νερά και επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στα οικοσυστήματα.



Μελέτες από τα μέσα της δεκαετίας του '80 οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπων που συντελούν στη δημιουργία της όξινης βροχής μεταφέρονται μέσω των αερίων μαζών σε μεγάλες αποστάσεις, μακριά από τον τόπο παραγωγής τους.

Η πιθανότητα να δεχθεί μια περιοχή όξινη βροχή εξαρτάται κυρίως από την προέλευση και την τροχιά των αερίων μαζών που προκαλούν τις βροχές. Τα ρεύματα αέρα που επικρατούν σε ύψη όπου εκπέμπονται τα οξείδια (300-500 μέτρων), βοηθούν στη μεταφορά τους σε απόσταση έως και χίλια χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο παραγωγής τους.

Περιοχές που αντιμετωπίζουν έντονα προβλήματα από την όξινη βροχή, χωρίς οι ίδιες να έχουν σημαντικές εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου, είναι οι Σκανδιναβικές χώρες και ο Καναδάς που γίνονται αποδέκτες της οξύτητας που σχηματίζεται από εκπομπές χωρών της κεντροδυτικής Ευρώπης και των βορειοανατολικών Η.Π.Α. Στην Ευρώπη, η Μ. Βρετανία είναι η χώρα που επηρεάζει τα οικοσυστήματα της βορειοδυτικής Ευρώπης, «εξάγοντάς» τους όξινη βροχή.

Στην Ελλάδα, κατά κανόνα, το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχών (35%-45%) έχουν δυτική και νοτιοδυτική προέλευση (Ισπανία, Ν. Ιταλία, Β. Αφρική), οι βροχές αυτές εμφανίζουν, κατά κανόνα, pH κοντά σε κείνο της καθαρής βροχής. Ένα εξίσου μεγάλο ποσοστό βροχών (30%-40%) έχει νότια προέλευση (Αίγυπτο–Λιβύη). Οι

βροχές αυτές χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό pH. Το 20%-25% των βροχών προέρχεται από την κεντρική Ευρώπη, όπου υπάρχουν σημαντικές πηγές εκπομπής διοξειδίου του θείου SO₂ και διοξειδίου του αζώτου NO₂. Οι βροχές αυτές έχουν χαμηλό pH και χαρακτηρίζονται ως όξινες.

3.1.2 Όξινη βροχή νέας γενιάς

Στις βροχοπτώσεις πλέον ανιχνεύονται εξαιρετικά επικίνδυνοι ρύποι, όπως πλατίνα, παλλάδιο, ιρίδιο, όσμιο, ρουθίνιο, κ.α.. Πρόκειται για στοιχεία που υπάρχουν σε όλους τους καταλύτες των αυτοκινήτων. Ο ρόλος τους είναι να μειώνουν τη ρύπανση που προκαλείται από την έκλυση των καυσαερίων. Με τον καιρό και λόγω της φυσικής φθοράς των καταλυτών, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέταλλα που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Οι ρύποι αυτοί αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Το νερό των βροχών τους παρασύρει και τους διασκορπίζει παντού. Οι ρύποι αυτοί θεωρούνται εξαιρετικά τοξικοί. Προκαλούν αλλεργίες, άσθμα, προβλήματα στα νεφρά και την καρδιά.

3.2 Επιπτώσεις της όξινης βροχής στο περιβάλλον

Έχει διαπιστωθεί ότι η όξινη βροχή επιδρά σ' όλα τα συστατικά της βιόσφαιρας : στο έδαφος, στα δάση, στις καλλιέργειες, στις λίμνες, στα ποτάμια και γενικότερα στην υδρόβια ζωή, καθώς και στα μνημεία και στα κτήρια.

A) Επιπτώσεις στο έδαφος

Η όξινη βροχή απομακρύνει από το έδαφος πολύτιμα μέταλλα, όπως το μαγνήσιο (Mg), το ασβέστιο (Ca), το κάλιο (K), μετατρέποντας το έδαφος σε φτωχό σε θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών. Επιπλέον, το όξινο pH θανατώνει τους αποικοδομητές στο έδαφος. Όσο πιο όξινο είναι το pH της βροχής τόσο περισσότερα τοξικά μέταλλα απελευθερώνονται από το έδαφος. Έτσι, τοξικά μέταλλα, όπως ο μόλυβδος (Pb), ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το κάδμιο (Cd) και ο υδράργυρος (Hg), μπορούν να αποδεσμευτούν από το έδαφος, να φτάσουν στα υπόγεια νερά, στους ποταμούς, τις λίμνες, και στα ρεύματα που χρησιμοποιούνται για την προμήθεια του πόσιμου νερού, να μπουν στην τροφική αλυσίδα και να καταλήξουν στον άνθρωπο.

B) Επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα

Οι υψηλές συγκεντρώσεις όξινης απόθεσης είναι επιβλαβείς για τα υδάτινα οικοσυστήματα τα οποία δείχνουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις αλλαγές της οξύτητας. Με την αύξηση της οξύτητας του νερού μειώνεται η γονιμότητα των ψαριών και το ποσοστό εκκόλαψης των αυγών, με αποτέλεσμα να μειώνεται δραματικά ο

πληθυσμός των ψαριών και άλλων ειδών υδρόβιας ζωής. Επίσης, η όξινη βροχή ενεργοποιεί το αργίλιο στο νερό και στον πυθμένα των λιμνών, γεγονός που μπλοκάρει το αναπνευστικό σύστημα των οργανισμών που ζουν σ' αυτό, με αποτέλεσμα να οδηγούνται στο θάνατο.

Επίσης, το αργίλιο συντελεί στην καθίζηση του φωσφόρου και μειώνει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και τη συγκέντρωση του φυτοπλαγκτού. Δημιουργούνται έτσι, ολιγοτροφικές λίμνες, που παρουσιάζουν μια πλαστή ομορφιά με τα εξαιρετικά διαυγή νερά τους.

Η μείωση του pH συνοδεύεται από αύξηση των διαλυμένων μετάλλων, η υψηλή συγκέντρωση των οποίων μπορεί ν' αποβεί μοιραία για τα ψάρια. Όταν η τιμή του pH είναι ίση με 4, έχει παρατηρηθεί θνησιμότητα του 50% των αμφίβιων. Η μείωση του πληθυσμού των ψαριών και των αμφίβιων επηρεάζει άμεσα την τροφική αλυσίδα, καθώς τα θηλαστικά και τα πτηνά τρέφονται μ' αυτά. Μελέτες δείχνουν ότι εκατοντάδες λίμνες τόσο στη Β. Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α. και στον Καναδά είναι τόσο όξινες, ώστε ο πληθυσμός των ψαριών να έχει μειωθεί αισθητά. Σε μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί κάποιο αντιδραστήριο εξουδετέρωσης προσθέτουν σβησμένο ασβέστη ή ασβεστόλιθο μέσα στις λίμνες. Μετά την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, διαπιστώθηκε ότι το pH του νερού επανήλθε στην κανονική του τιμή και τα διαλυμένα μέταλλα ελαττώνονται, καθώς καταβυθίζονται με τη μορφή υδροξειδίων σε ουδέτερο pH. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος αυτή δεν λύνει το πρόβλημα, μιας και τα μέταλλα συνεχίζουν να υπάρχουν σε τοξικές για τα ψάρια συγκεντρώσεις.

Γ) Επιπτώσεις στα δάση και στις καλλιέργειες

Τα δάση στις ΗΠΑ, στον Καναδά, στη Σουηδία και στην Κεντρική Ευρώπη παρουσιάζουν σημαντική ελάττωση της ετήσιας αύξησής τους. Το 5% των δασών της Γερμανίας έχει νεκρωθεί, ενώ το 30%-50% έχει υποστεί σοβαρές βλάβες. Τις μεγαλύτερες βλάβες έχει υποστεί η ελάτη και ακολουθούν, με σειρά, η πεύκη, η ερυθρελάτη και η οξιά. Οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει διάφορες θεωρίες για να εξηγήσουν με ποιο τρόπο προκαλείται η καταστροφή των φυτών:

- Η θεωρία των βλαστών υποστηρίζει ότι αρχικά τα φύλλα των φυτών υφίστανται βλάβες από το όζον, οι οποίες επιταχύνονται από την επίδραση της όξινης βροχής.
- Η θεωρία των ριζών υποστηρίζει ότι το λεπτό ριζικό σύστημα καταστρέφεται από το χαμηλό pH του νερού της βροχής και έτσι γίνεται με δυσκολία η μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων.
- Σύμφωνα με τη θεωρία της πολλαπλής έντασης, η συνολική επίδραση αέριων ρύπων κατά τις προηγούμενες δεκαετίες και ο συνδυασμός με άλλα φαινόμενα οδηγεί σε σημαντική ελάττωση της παραγωγής υδατανθράκων στα δασικά δέντρα. Τα φυτά χάνουν το σφρίγος τους, οι ρίζες και οι βλαστοί δεν

αναπτύσσονται κανονικά και έτσι γίνονται ευάλωτα σε προσβολές από έντομα, μύκητες καθώς και στην καταστροφή από παγετό ή ξηρασία. Τα δέντρα έτσι γίνονται αδύναμα στα έντομα και στην ξηρασία.



Δ) Επιπτώσεις στα αρχαία μνημεία

Η όξινη βροχή διαβρώνει υλικά όπως τα οικοδομικά υλικά (μάρμαρο, γρανίτη, ασβεστόλιθο), τα μέταλλα, τα χρώματα. Ιδιαίτερο πρόβλημα είναι η καταστροφή των αρχαίων μνημείων, σε πολλές πόλεις στον κόσμο, καθώς και σε κτήρια και μνημεία της Ευρώπης, προκαλώντας ανεπανόρθωτες καταστροφές στην πολιτιστική κληρονομιά των λαών. Ο Παρθενώνας επιβίωσε περισσότερο από 2000 χρόνια. Υπέστη σεισμούς και βορβαδισμούς, από πάνω του πέρασαν κατακτητές και ο άνεμος και η βροχή τον χτύπησαν επανειλημμένα. Δεν έπαθε όμως διάβρωση ούτε μεγάλες κακώσεις. Μέσα στις τελευταίες δεκαετίες έγιναν πολύ περισσότερα από ό,τι σε δύο χιλιετίες. Η όξινη βροχή του κατατρώγει τα μάρμαρα. Οι Καρυάτιδες ήδη είναι στο μουσείο για να προστατευτούν. Σε μερικά χρόνια ο Παρθενώνας θα έχει γίνει άμορφος και τα μάρμαρά του θα γίνονται σκόνη.

Η διάβρωση των μνημείων οφείλεται σε αντιδράσεις που γίνονται στην επιφάνειά τους. Το διοξείδιο του θείου και η υγρασία αντιδρούν με το ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 και σχηματίζουν θεικό ασβέστιο και γύψο ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), τα οποία είναι διαλυτά στο νερό, με αποτέλεσμα να προκαλείται φθορά τόσο στα δομικά υλικά όσο και στο κονίαμα που τα συνδέει. Η διαδικασία αυτή λέγεται γυψοποίηση.



Ε) Επιπτώσεις στον άνθρωπο

Υπάρχουν πολλοί λόγοι ανησυχίας για την υγεία του ανθρώπου από την όξινη βροχή. Η όξινη βροχή επιδρά σ' όλα τα συστατικά της βιόσφαιρας επηρεάζοντας τη διατροφική αλυσίδα και έτσι, μέσω αυτής εισέρχονται στον οργανισμό επικίνδυνα τοξικά μέταλλα στον οργανισμό του ανθρώπου με πολύ σοβαρές συνέπειες στην υγεία του. Επίσης, στους ανθρώπους η όξινη βροχή επηρεάζει το δέρμα και υπάρχουν υπόνοιες ότι «κατατρώγει» τους πνεύμονες. Είναι πλέον βέβαιο ότι το διοξείδιο του θείου βλάπτει το αναπνευστικό σύστημα και μπορεί να συντομεύσει την ανθρώπινη ζωή.

ΣΤ) Επιπτώσεις στο κλίμα

Τα δέντρα, η βλάστηση αλλά και το φυτοπλαγκτόν υφίστανται σοβαρές βλάβες από βροχή με pH μικρότερο του 5.1. Άρα, η όξινη βροχή προκαλεί καταστροφή των δασών και μείωση της συγκέντρωσης του φυτοπλαγκτόν και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απορρόφησης του CO₂ από την ατμόσφαιρα και από τους ωκεανούς, που ως γνωστόν είναι μεγάλοι απορροφητές του CO₂ και κατά συνέπεια την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

3.3 Αντιμετώπιση του προβλήματος

Το πρόβλημα της όξινης βροχής είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα διασυννοριακής ρύπανσης, επειδή αυτοί που επηρεάζονται από τη βροχή είναι πολλές φορές πολύ μακριά από αυτούς που την προκαλούν. Υπήρξε σημείο τριβής μεταξύ κρατών και έγινε η αφορμή να αρχίσουν νομοθετικές ρυθμίσεις για αυτό το θέμα.

Δραστικές, βιώσιμες λύσεις θα πρέπει να βασίζονται στη μείωση των εκπομπών των ρύπων που προέρχονται από ανθρωπογενείς πηγές. Για το σκοπό αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω γενικές προσεγγίσεις:

- Έλεγχος των εκπομπών από τις βιομηχανίες. Εφόσον οι περισσότεροι ρύποι είναι προϊόντα καύσης, μια πρώτη προσέγγιση για τον έλεγχο των εκπομπών θα πρέπει να στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Οι βιομηχανίες των προηγμένων χωρών είναι υποχρεωμένες να μειώνουν τις εκπομπές των ρύπων που προκαλούν την όξινη βροχή.
- Προσθήκη ασβεστόλιθου. Αυτή η διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε λίμνες στη Νορβηγία και τη Σουηδία. Μια διαδικασία ιδιαίτερα δαπανηρή, η οποία πρέπει να γίνεται επαναλαμβανόμενα για να αποτρέψει το νερό να ξαναγυρίσει στην όξινη κατάσταση. Θεωρείται μια βραχυπρόθεσμη επιδιόρθωση σε συγκεκριμένες περιοχές και όχι μια προσπάθεια μείωσης ή εξάλειψης της μόλυνσης. Επιπλέον, δεν λύνει ευρύτερα προβλήματα, όπως την αλλαγή της σύστασης του εδάφους, τη μείωση της ορατότητας, την καταστροφή των υλικών και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, συχνά επιτρέπει στα ψάρια να παραμείνουν σε μια λίμνη, έτσι ώστε ο ενδογενής πληθυσμός να επιζήσει σ' αυτό το μέρος έως ότου να μειωθεί η εκπομπή ρύπων και η απόθεση οξέων στην περιοχή.
- Χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας και κυρίως ανανεώσιμων πηγών, όπως η ηλιακή, η αιολική ενέργεια και η γεωθερμία .
- Η χρήση του καταλυτικού μετατροπέα, μιας συσκευής η οποία τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων των αυτοκινήτων με στόχο τη μετατροπή των εκπεμπόμενων ρύπων σε λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον καυσαέρια.
- Υπάρχουν, επίσης, εναλλακτικές μορφές ενέργειας για τα αυτοκίνητα, που δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον, όπως τα αυτοκίνητα που κινούνται με αέριο, με μπαταρίες, με κυψέλες καυσίμων και με συνδυασμό εναλλακτικής μορφής ενέργειας και βενζίνης.
- Σε ατομικό επίπεδο, η ανάπτυξη οικολογικής συμπεριφοράς και η υιοθέτηση καταναλωτικών προτύπων φιλικών προς το περιβάλλον. Υπάρχουν συγκεκριμένες ενέργειες που μπορεί ο καθένας από μας να κάνει για να μειώσει τη συνεισφορά του στο πρόβλημα, όπως να έχει ενημέρωση και ενεργό συμμετοχή σε πρωτοβουλίες για το περιβάλλον, να περιορίζει τη σπατάλη ενέργειας (π.χ. απενεργοποίηση συσκευών και σβήσιμο των φώτων, όταν δεν είναι απαραίτητο να λειτουργούν), να ρυθμίζει το θερμοστάτη στις συσκευές θέρμανσης στους 20°C το χειμώνα και ψύξης στους 25°C το καλοκαίρι, να επιλέγει θερμομόνωση στις κατοικίες, να χρησιμοποιεί τα μέσα μαζικής μεταφοράς ή το ποδήλατο για τις μετακινήσεις του, να καταναλώνει προϊόντα που τα ίδια ή οι συσκευασίες τους είναι φιλικές στο περιβάλλον κ.ά.

4. Τροποποίηση καιρού

Η Τροποποίηση καιρού, επίσης γνωστή ως σπορά νεφών, είναι η δράση για να αλλάξει η ποσότητα ή το είδος του νετού που πέφτει από τα σύννεφα, με τη διασπορά ουσιών στον αέρα που χρησιμεύουν ως συμπυκνωτές νεφών ή πυρήνες πάγου, οι οποίες μεταβάλλουν τις μικροφυσικές διεργασίες μέσα στο σύννεφο. Εφαρμόζεται ευρέως σε όλο τον κόσμο. Ο συνήθης στόχος είναι να αυξηθεί ο νετός (βροχή ή χιόνι), αλλά και η καταστολή χαλαζιού και η διάλυση ομίχλης.

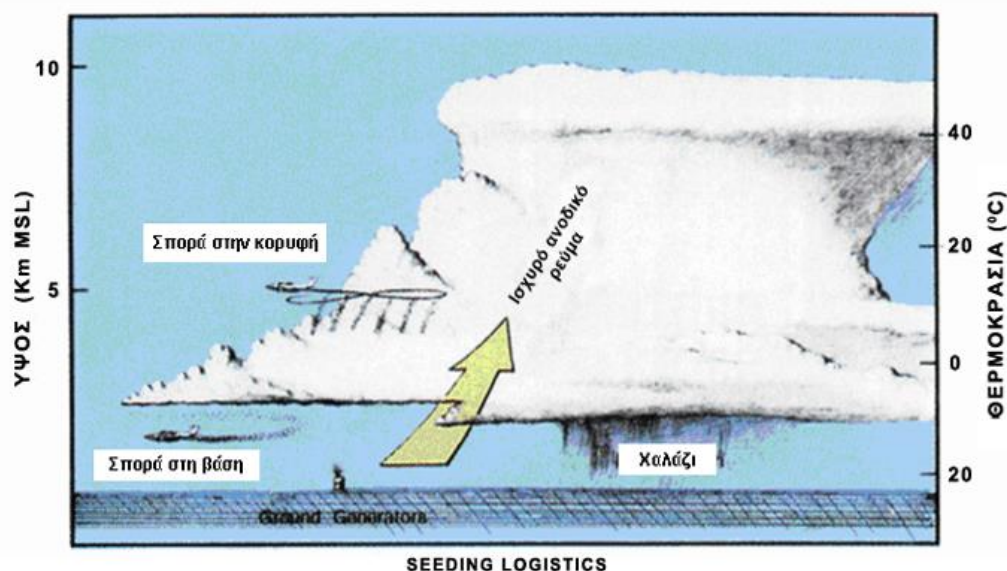
Οι πρώτες προσπάθειες τροποποίησης του καιρού από τον άνθρωπο άρχισαν το 19^ο αιώνα με μεθόδους χωρίς επιστημονική βάση και κορυφώθηκαν κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20ού αιώνα μετά από την ανακάλυψη ότι η σπορά των νεφών με χημικές ουσίες, όπως ο ξηρός πάγος ή ο ιωδιούχος άργυρος, επηρεάζει τις διαδικασίες παραγωγής νετού. Τις τελευταίες δεκαετίες, γίνονται πειράματα και ενδεχομένως επιχειρήσεις τροποποίησης του καιρού όχι μόνο με τη διαδικασία της σποράς των νεφών με χημικές ουσίες, αλλά και με τη χρησιμοποίηση άλλων μέσων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Στις μέρες μας, συζητείται ακόμα και η ιδέα τεχνητού ελέγχου του κλίματος με σκοπό την ανακοπή της ανόδου της θερμοκρασίας της Γης.

Σκοπός

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για νερό κάνουν τη δυνατότητα για την ενίσχυση των πηγών, την αποθήκευση και την ανακύκλωση των γλυκών υδάτων μια εύλογη περιοχή μελέτης. Η καταστροφή και η απώλεια ζωής εξαιτίας έντονων καιρικών φαινομένων, η οποία αυξάνεται με την αύξηση του πληθυσμού και τις δημογραφικές εξελίξεις, απαιτούν να εξετάσουμε τρόπους για τη μείωση αυτών των επιπτώσεων. Τα επιχειρησιακά προγράμματα για τη διάλυση της ομίχλης, την αύξηση της βροχής και του χιονιού και την καταστολή του χαλαζιού λαμβάνουν χώρα σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο. Ο πρωταρχικός στόχος αυτών των προγραμμάτων είναι η απόκτηση περισσότερου νερού, η μείωση των ζημιών από το χαλάζι, η εξάλειψη της ομίχλης, ή άλλα παρόμοια πρακτικά αποτελέσματα ως ανταπόκριση σε μια αναγνωρισμένη ανάγκη. Οι οικονομικές αναλύσεις δείχνουν ότι η αύξηση των βροχοπτώσεων και οι επιχειρήσεις καταστολής χαλαζιού μπορεί να έχουν σημαντικά οικονομικά οφέλη, αλλά οι αβεβαιότητες κάνουν τις επενδύσεις σε τέτοιες προσπάθειες να υπόκεινται σε σημαντικούς κινδύνους.

4.1 Σπορά νεφών

Οι πιο κοινές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τη σπορά νεφών περιλαμβάνουν ιωδιούχο άργυρο και ξηρό πάγο (στερεό διοξείδιο του άνθρακα). Το υγρό προπάνιο, το οποίο εξαπλώνεται σε αέριο, έχει επίσης χρησιμοποιηθεί. Αυτό μπορεί να παράγει κρυστάλλους πάγου σε υψηλότερες θερμοκρασίες από ό, τι ο ιωδιούχος άργυρος. Η χρήση υγροσκοπικών υλικών, όπως το επιτραπέζιο αλάτι, γίνεται όλο και πιο δημοφιλές μετά από πολλά υποσχόμενη έρευνα. Η σπορά των νεφών απαιτεί να περιέχουν υπερψυγμένο νερό σε υγρή μορφή, δηλαδή, υγρό νερό πιο κρύο από μηδέν °C . Η εισαγωγή μιας ουσίας όπως ο ιωδιούχος άργυρος, η οποία έχει κρυσταλλική δομή παρόμοια με εκείνη του πάγου, θα προκαλέσει πάγωμα των πυρήνων.



Επίπτωση

Ο ιωδιούχος άργυρος και τα στενά σχετιζόμενα χλωροϊωδιούχα αργύρου ($AgIO_8Cl_{10}O_2$) είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα υλικά πυρηνοποίησης που χρησιμοποιούνται στη σπορά νεφών. Η κρυσταλλική δομή του ιωδιούχου αργύρου μοιάζει πολύ με αυτή του πάγου, και ως τέτοια είναι ένα πολύ αποτελεσματικό υποκατάστατο για τον πάγο ως παράγοντας πυρηνοποίησης στο σύννεφο. Το πρώτο στρώμα των μορίων του νερού σε επαφή με ένα υπόστρωμα σωματιδίων ιωδιούχου αργύρου ταιριάζει πολύ στενά, έτσι ώστε η επιφανειακή ενέργεια στη διεπαφή να είναι μικρή (Dennis, 1980). Ένας άλλος λόγος που ο ιωδιούχος άργυρος χρησιμοποιείται συνήθως για τη σπορά νεφών είναι ότι είναι πρακτικά αδιάλυτος στο νερό. Δηλαδή, παραμένει σε στερεή μορφή αντί να διαλύεται στο νερό. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι απαραίτητο για την επιτυχία της σποράς των νεφών, γιατί αν ο παράγοντας σχηματισμού πυρήνων διαλυόταν στο νερό δεν θα ήταν πλέον χρήσιμος ως σημείο πυρηνοποίησης για τον νερό. Επιπλέον, παραμένοντας σε στερεά

μορφή, ο εισαχθείς ιωδιούχος άργυρος δεν καθίσταται βιολογικά διαθέσιμος στο περιβάλλον, και ως εκ τούτου δεν έχει αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον. Καθώς ο ιωδιούχος άργυρος και όχι ο στοιχειακός άργυρος είναι το υλικό σποράς νεφών, οι ισχυρισμοί των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων αμφισβητούνται από αξιολόγηση από ομότιμους ειδικούς, όπως συνοψίζεται από τη διεθνή Weather Modification Association.

4.2 Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Το σύστημα HAARP (High Frequency Active Auroral Research Program) υλοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 90 και ενεργοποιήθηκε αρχικά το 1997, ενώ σε πλήρη λειτουργία έχει τεθεί από το 2002. Πρωτοπόρος της ιδέας ήταν ο Nikola Tesla, που από το 1886, ξεκίνησε έρευνες για την τηλεμεταφορά ενέργειας μέσω της ιονισμένης ατμόσφαιρας.

Ο ιονισμός της ατμόσφαιρας επιτυγχάνεται με την υπερθέρμανση επιλεγμένων περιοχών της ιονόσφαιρας, οι οποίες εξαιτίας της θέρμανσης ανυψώνονται και έτσι αλλάζει το σχήμα των ατμοσφαιρικών αερίων (επηρεάζει τα ρεύματα του αέρα).

Ο Tesla οραματίστηκε τη δημιουργία τεράστιας ηλεκτρομαγνητικής ασπίδας στην ιονόσφαιρα, η οποία θα μπορούσε να προφυλάξει τη γη από ακραία καιρικά φαινόμενα και αστρικές επιθέσεις, μια ασπίδα τόσο ισχυρή, ικανή να βελτιώσει ακόμα και τις τηλεπικοινωνίες. Τόσο οι έρευνες όσο και οι απόψεις του θεωρήθηκαν τολμηρές και πολλές φορές ανεπίτευκτες για την εποχή, γι' αυτό το έργο του αναγνωρίστηκε πολλά χρόνια μετά τον θάνατό του. Μόλις πέθανε, πολλές από τις σημειώσεις του κατασχέθηκαν από το FBI με τη δικαιολογία πως έθεταν θέματα Εθνικής Ασφάλειας.

Το HAARP ,λοιπόν ,έχει τη δυνατότητα να συμβάλλει στην αλλαγή του κλίματος βομβαρδίζοντας εντατικά την ατμόσφαιρα με υψηλής συχνότητας ακτίνες. Όμως τα χαμηλής (E.L.F) ή υψηλής συχνότητας κύματα επιστροφής θα μπορούσαν να έχουν επιπτώσεις στον ανθρώπινο εγκέφαλο αλλά και να προκαλέσουν ακόμα και τεκτονικές μετακινήσεις, ελεγχόμενες με άλλα λόγια σεισμικές δονήσεις. Γενικότερα το HAARP έχει τη δυνατότητα της τροποποίησης του γήινου μαγνητικού πεδίου.

Θα μπορούσε να τροποποιήσει επιλεκτικά το κλίμα στα διάφορα μέρη του κόσμου με συνέπεια την αποσταθεροποίηση των γεωργικών και οικολογικών συστημάτων. Καταστροφικές θεομηνίες ή εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας θα μπορούσαν να γονατίσουν την οικονομία μιας χώρας .

4.3 Laser και ιονισμός της ατμόσφαιρας

Σε πειραματικά στάδια βρίσκεται και η τροποποίηση του καιρού με Laser. Τον Μάιο του 2010 μια ερευνητική ομάδα του πανεπιστημίου της Γενεύης κατάφερε να πετύχει τροποποίηση του καιρού με χρήση Laser, όταν ο Dr. Jerome Kasparian αποκάλυψε τα αποτελέσματα μιας πρωτοποριακής έρευνας που χρησιμοποιούσε Laser υψηλής ισχύος για την πρόκληση βροχής.

4.4 Γεωμηχανική

Όταν πριν από μερικές δεκαετίες εξερράγη το ηφαίστειο Πινατούμπο στις Φιλιππίνες οι επιστήμονες παρακολούθησαν έκπληκτοι μια παράπλευρη ωφέλεια από τη μανία της φύσης. Περίπου 20 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του θείου, που εκλύθηκαν στην ατμόσφαιρα, δημιούργησαν μια ομπρέλα γύρω από τον πλανήτη που αντανάκλασε μέρος τη θερμότητας του ήλιου προς το διάστημα.

Το αποτέλεσμα ήταν η θερμοκρασία του πλανήτη μας να μειωθεί κατά μισό βαθμό, καθυστερώντας για μικρό χρονικό διάστημα περίπου ενός έτους τις επιπτώσεις από την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Έκτοτε ομάδες επιστημόνων έχουν παρουσιάσει δεκάδες ιδέες για το πως ο άνθρωπος θα μπορούσε να μιμηθεί αυτό το φυσικό φαινόμενο για να προστατέψει τον πλανήτη από την καταστροφή που ο ίδιος επιφέρει με την ανεξέλεγκτη βιομηχανική παραγωγή και το βιασμό του περιβάλλοντος

Ανάμεσα στις προτάσεις περιλαμβάνεται η δημιουργία τεχνητών ηφαιστειών ή ακόμη και η τοποθέτηση τεράστιων κατόπτρων στο διάστημα τα οποία θα στέλνουν την ηλιακή ενέργεια σε άλλη κατεύθυνση επιτρέποντας στον πλανήτη να ψυχρανθεί. Πολύ πιο λογικές φαντάζουν οι προτάσεις που περιλαμβάνουν τον ψεκασμό των ωκεανών ή της στρατόσφαιρας με σωματίδια που θα αντανάκλουν μεγάλο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας λειτουργώντας σαν ασπίδα προστασίας. Συνεπώς όλες αυτές οι ιδέες συνετέλεσαν στην δημιουργία της λεγόμενης γεωμηχανικής.

Ο όρος γεωμηχανική μπορεί να ακούγεται τεχνικός, αλλά στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα νέο περιβαλλοντικό κίνημα, που υπόσχεται να σώσει τον κόσμο από το Φαινόμενο Θερμοκηπίου με τη χρήση σκόνης θείου, σιδήρου, ανακλαστών καθώς και την εγκατάσταση χιλιάδων μικροσκοπικών κατόπτρων στο διάστημα.

Επιστημονική μελέτη που διεξήχθη ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο η γεωμηχανική θα μπορεί να βοηθήσει στην αντιστροφή της κλιματικής αλλαγής, έδειξε πως η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να αποδειχτεί καταστροφική. Οι τεχνητές εκρήξεις ηφαιστειών για παράδειγμα θα μπορούσαν να επιφέρουν σοβαρή ξηρασία. Η αμφιλεγόμενη ιδέα της γεωμηχανικής, που σκόπιμα αντιστρέφει το παρόν κλίμα της

Γης, συζητείται σοβαρά ως ένας τρόπος αποφυγής της υπερθέρμανσης του πλανήτη, στη περίπτωση που οι εκπομπές αερίου των θερμοκηπίων δεν μειωθούν.

Σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες η γεωμηχανική αποτελεί την έσχατη λύση ώστε να απορροφηθεί το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα σε πλανητική κλίμακα. Ωστόσο, η αποκαλυπτική νέα έρευνα δείχνει ότι η απελευθέρωση σωματιδίων του θείου στην στρατόσφαιρα για το μπλοκάρισμα του ηλιακού φωτός, θα μπορούσε να έχει εξίσου σοβαρές επιπτώσεις και παρενέργειες με αυτές της αύξησης της θερμοκρασίας. Επιπλέον οι επιπτώσεις θα ήταν διαφορετικές σε όλο τον κόσμο πράγμα που θα αυξήσει τις προοπτικές των συγκρούσεων μεταξύ των εθνών, καθώς κάποια θα επωφελούνταν ενώ άλλα θα υπέφεραν από τις παρενέργειες.

Τα μεγάλα σχέδια της γεωμηχανικής έρχονται σε δύο βασικές εκδοχές.

- 1. Η πρώτη στοχεύει στην αύξηση της ικανότητας των ωκεανών να απορροφούν άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Σήμερα οι ωκεανοί μαζί με τα τροπικά δάση, αποτελούν τον αποτελεσματικότερο φυσικό μηχανισμό αφαίρεσης άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Γι' αυτό και οι γεωμηχανικοί αναρωτώνται: Τι μπορούμε να κάνουμε για να ενισχύσουμε το έργο των ωκεανών;

Η απλούστερη πρόταση είναι να ραντίσουμε με τεράστιες ποσότητες σιδήρου την επιφάνεια τους. Αυτό θα δημιουργούσε τις ιδανικές συνθήκες για την αύξηση του πλαγκτόν, των μικροοργανισμών που καταναλώνουν άνθρακα όταν είναι ζωντανοί. Όταν πεθαίνουν, βουλιάζουν στον πυθμένα του ωκεανού παίρνοντας μαζί τους, για αιώνες, τον άνθρακα σε έναν θαλάσσιο τάφο.

- 2. Η νέα πρόταση James Lovelock είναι παρόμοια. Το σχέδιο του προβλέπει την κατασκευή τεράστιων κάθετων σωλήνων που θα βυθιστούν στη θάλασσα. Οι συγκεκριμένοι σωλήνες θα αντλούν από τον πυθμένα των ωκεανών νερό πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες. Το πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά νερό είναι κατάλληλο για μικροοργανισμούς που «τρώνε» άνθρακα.

Η δεύτερη σχολή της γεωμηχανικής επιδιώκει την ανάκλαση μεγαλύτερης ηλιακής ενέργειας πίσω στο διάστημα, προκειμένου να μη μείνει στη Γη και ανέβει η θερμοκρασία της. Γνωρίζουμε, για παράδειγμα, ότι όταν τα ηφαίστεια εκρήγνυνται, απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες μικροσκοπικής σκόνης θείου στην ατμόσφαιρα, οι οποίες λειτουργούν σαν κουβέρτα και ελαττώνουν αισθητά τη θερμοκρασία του πλανήτη. Ένα τέτοιο ηφαίστειο ήταν του Όρους Tambora που η έκρηξη του το 1815 είχε φέρει το "έτος χωρίς καλοκαίρι".

Έτσι, επιστήμονες όπως ο νομπελίστας Paul Crutzen έχουν προτείνει να εξομοιώσουμε τεχνητά αυτό το φαινόμενο, ψεκάζοντας θείο στην ατμόσφαιρα: καταπολεμώντας τη μόλυνση με άλλη μόλυνση. Η Εθνική Ακαδημία Επιστημών των ΗΠΑ προχώρησε ακόμη πιο πέρα, υποστηρίζοντας ότι η εγκατάσταση 55.000

μικροσκοπικών κατόπτρων στην ανώτερη ατμόσφαιρα θα ήταν αρκετή για να αντισταθμίσει περίπου το ήμισυ των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Μια άλλη πρόταση είναι η δημιουργία πυκνότερων νεφών με τη βοήθεια της σποράς των νεφών, τα οποία θα ανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου θα ελαττωθεί η θερμοκρασία της γης.

Προς το παρόν καμία χώρα δεν χρηματοδοτεί έρευνες στον τομέα της γεωμηχανικής - οι περισσότερες προέρχονται από μεμονωμένους ερευνητές οι οποίοι ασχολούνται με αυτές με δική τους πρωτοβουλία. Κανείς δεν μπορεί να αποκλείσει ωστόσο ότι στο μέλλον κάποιες κυβερνήσεις θα εξετάσουν σοβαρά τέτοιου είδους σχέδια. Ήδη το αμερικανικό υπουργείο Ενέργειας φέρεται να έχει δείξει ενδιαφέρον για την πρόταση του νομπελίστα χημικού Πολ Κρούτσεν για την εισαγωγή σωματιδίων θείου στη στρατόσφαιρα - μία από τις πλέον οικονομικές και ίσως η μοναδική εύκολα υλοποιήσιμη από όσες έχουν παρουσιαστεί ως τώρα. Τα ζητήματα που τίθενται είναι πολλά: από ηθικά και δεοντολογικά, όπως το αν έχουμε το δικαίωμα να προκαλούμε τόσο σημαντικές μεταβολές στον πλανήτη και το ποιος αποφασίζει τελικά για την υλοποίηση ενός τέτοιου σχεδίου, ως το ποιος θα ελέγχει τα συστήματα αυτά σε περίπτωση που τεθούν σε εφαρμογή.

Παράλληλα, σημαντική φαίνεται να είναι και η αντίθεση των οικολόγων στο ζήτημα της γεωμηχανικής. Οι οικολόγοι υποστηρίζουν ότι όλες οι ενδείξεις συντείνουν στο ότι, παρά το γεγονός πως δεν μπορούν να λειτουργήσουν, ακούγονται αρκετά ευλογοφανείς ώστε να αποτελέσουν άλλη μία δικαιολογία για να μη γίνει τίποτε, ενώ ο πλανήτης θα βράζει. Σύντομα η βιομηχανία ορυκτών καυσίμων μπορεί να αρχίσει να διαφημίζει τη γεωμηχανική ως τη μοναδική λύση αντιμετώπισης των προβλημάτων.

Σημαντική, είναι και η παρατήρηση ότι το πλαγκτόν που «καταναλώνει» άνθρακα μπορεί να έχει απρόβλεπτες συνέπειες: η ξαφνική «βύθιση» μεγάλης ποσότητας οργανικού υλικού προκαλεί την απελευθέρωση μεθανίου, του αερίου που προκαλεί τη μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας.

Τα συγκεκριμένα σχέδια εξάλλου δεν αντιμετωπίζουν το άλλο μεγάλο πρόβλημα που προκαλούν οι εκπομπές ρυπογόνων αερίων: την αύξηση της οξύτητας των ωκεανών που σκοτώνει κοχύλια και κοραλλιογενείς σχηματισμούς.

Βιβλιογραφία

- Φυσική των νεφών (εφαρμογή στα CCN) του Αργυρόπουλου Χαράλαμπου
- Δημήτρης Ζιακόπουλος «Καιρός, ο έλεγχος»
- Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας
Συγγραφείς: Παναγιώτης Μαχαιράς, Χρήστος Μπαλαφούτης επίκουροι καθηγητές του γεωλογικού τμήματος του Α.Π.Θ.
- Βιβλίο Μετεωρολογία Αθ.ΛΕΚΚΑ Εκδόσεις "ΕΛΛΗΝ"
- <https://el.wikipedia.org>
- <http://oinofytaweather.gr/nefi.html>
- <https://www.rizospastis.gr/story.do?id=9684680>
- http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher6_6.html
- <http://1lyk-dramas.dra.sch.gr/efimerida/february2011/oksini.htm>
- <http://agrometeo.3dsa.net/%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%B%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%BF%CF%8D/>
- <http://tvxs.gr/news/sci-tech/geomixaniki-ti-tha-symbei-i-epistimi-epembeiston-kairo-0>
- <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=178723>
- <http://el.science.wikia.com/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE>
- http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/xf/pdf/Geo_Clouds_rain.pdf
- http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/to_nero_tis_atmosfiras.pdf
- http://meteoclima.hua.gr/images/stories/projects/kallipos/00_master_document_9926.r1.html#_Toc432157241
- <http://www.meteoclub.gr/prognosi/attiki/192----->