

Βορειοατλαντική Κύμανση (North Atlantic Oscillation, NAO)

Κατκαρίδης Αθανάσιος, Ανδρικοπούλου Αγγελική

Περιεχόμενα

Σελίδα

1.Εισαγωγή.....	3
2.Μηχανισμοί NAO.....	8
3.Προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της NAO.....	9
4.Επιπτώσεις της Βορειοατλαντικής Κύμανσης.....	11
4.1 Επίδραση στη θαλάσσια οικολογία.....	14
4.2 Επίδραση στη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης.....	15
4.3 Επίδραση στην οικονομία.....	16
4.4 Μεταφορά ρύπων προς την Αρκτική.....	19
4.5 Επίδραση στους παγετώνες.....	20

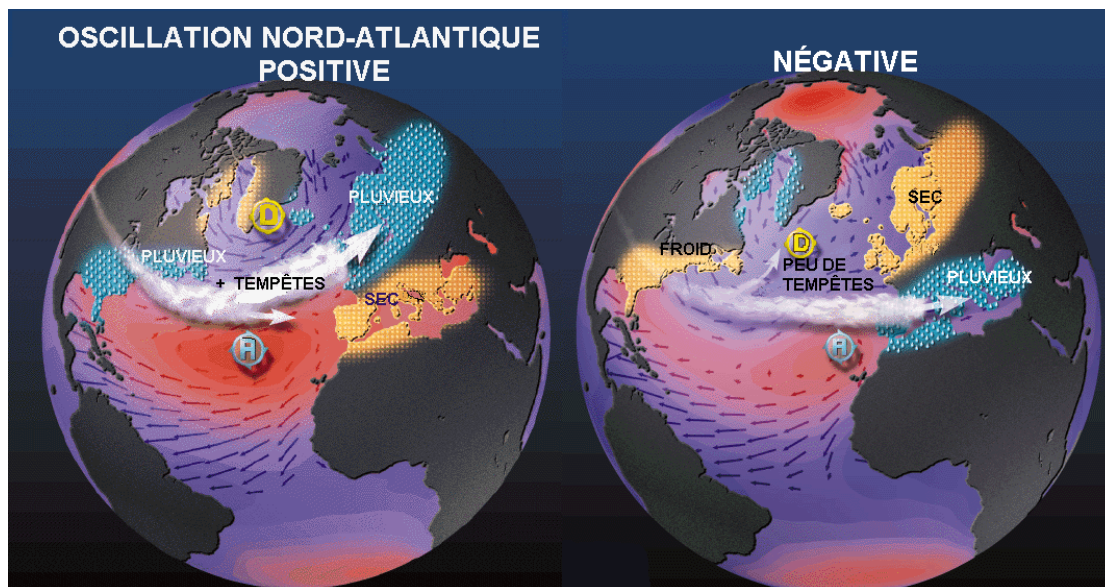
1.Εισαγωγή

Εδώ και καιρό καταγράφονται στη διεθνή μετεωρολογική βιβλιογραφία, ταυτόχρονες μεταβολές στον καιρό και το κλίμα σε διάφορα απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία της γης. Στην Μετεωρολογία τέτοιες μεταβολές αναφέρονται συνήθως ως «σχέδια τηλεσύνδεσης» (Teleconnection Patterns) τα οποία συνδέουν γεωγραφικές περιοχές. Συνεπώς, μερικές περιοχές είναι πιο δροσερές απ' ότι συνήθως, ενώ χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά επικρατούν αντίστοιχα πιο θερμές καιρικές συνθήκες. Αν και η ακριβής φύση και μορφή αυτών των μεταβολών ποικίλλουν ως ένα βαθμό, μέσω στατιστικής μεθοδολογίας και ανάλυσης διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων προκύπτουν ευδιάκριτα «σχέδια» που προσδιορίζουν περιφερειακά χαρακτηριστικά. Στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου της γης, διακρίνονται περίπου δώδεκα τέτοια σχέδια.

Ένα από τα πιο διάσημα σχέδια είναι η Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation, NAO), η οποία διαπραγματεύεται μεταβολές στην διαφορά ατμοσφαιρικής πίεσης σταθμών του Ατλαντικού ωκεανού, μεταξύ της Αρκτικής και του υποτροπικού Ατλαντικού. Αν και είναι το μόνο σχέδιο εμφανές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στο βόρειο ημισφαίριο, οι ανωμαλίες κλίματος που συνδέονται με τη NAO είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια των μηνών του βόρειου χειμώνα. Η Βορειοατλαντική Κύμανση είναι ένα από τα παλαιότερα γνωστά μετεωρολογικά μοτίβα, ένα κλιματικό φαινόμενο που επηρεάζει το κλίμα της Ευρώπης και όχι μόνο. Οι γεωργικές συγκομιδές, η διαχείριση των υδάτων, η προσφορά/ζήτηση ενέργειας, καθώς και η απόδοση της αλιείας μεταξύ πολλών άλλων επηρεάζονται κατά κάποιο τρόπο από τη NAO. Η κύμανση αυτή είναι ένα πολύπλοκο κλιματικό φαινόμενο, μια ανακατανομή στη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ της υποτροπικής ζώνης των Αζορών (ομάδα νησιών της Πορτογαλίας, 1500 χιλιόμετρα δυτικά της Λισαβόνας) χαρακτηριζόμενη από ένα βαρομετρικό κέντρο υψηλής πίεσης, και της Αρκτικής πάνω από την Ισλανδία, χαρακτηριζόμενη από ένα βαρομετρικό χαμηλής πίεσης.

Κατά την περίοδο που επικρατεί μεγάλη διαφορά ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ Ισλανδίας και Αζορών, έχουμε υψηλό (θετικό) NAO (Εικόνα 1), χαρακτηριζόμενο από έντονους δυτικούς ανέμους, οι οποίοι μεταφέρουν θερμότητα και υγρασία από τον Ατλαντικό Ωκεανό στην Ευρωπαϊκή ήπειρο μεταξύ 40 °N - 60 °N. Οι δυτικοί αυτοί άνεμοι, κατευθυνόμενοι από δυτικά στα ανατολικά με βόρεια κατεύθυνση, προκαλούν εμφάνιση καταιγίδων και συχνές βροχοπτώσεις στη Ν. Γροιλανδία, την Ισλανδία και τη Βόρεια Ευρώπη. Επίσης προκαλούν αύξηση θερμοκρασιών στην Ευρώπη, την Ευρασία, τη Β. Αμερική και μείωση της θερμοκρασίας στη Ν. Αφρική και τη Μέση Ανατολή. Επιπλέον, παρατηρούνται χαμηλότερα από το μέσο όρο επίπεδα υγρασίας πάνω από τη Γροιλανδία, τον Αρκτικό Καναδά, τη κεντρική Ευρώπη, τη Μεσόγειο και περιοχές της Μέσης Ανατολής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρονική περίοδος 1960-2000 χαρακτηρίζεται από μια γενική θετική τάση του δείκτη NAO.

Αντίθετα, ο χαμηλός αρνητικός δείκτης NAO (Εικόνα 1) χαρακτηρίζεται από μειωμένη διαφορά πίεσης μεταξύ Ισλανδίας και Αζορών, καταστολή των δυτικών ανέμων, άρα και μειωμένη διαφορά θερμοκρασίας και υγρασίας, προκαλώντας λιγότερες καταιγίδες το χειμώνα (σε μια πιο δυτική-ανατολική κατεύθυνση) και λιγότερες πιθανότητες εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών, όπως π.χ. καύσωνες το καλοκαίρι, εμφάνιση πάγου και μείωση των βροχοπτώσεων. Οι καταιγίδες αυτές έχουν μια πιο νότια διεύθυνση προς τη Μεσόγειο, κάτι που δημιουργεί αυξημένες βροχοπτώσεις στη Ν. Ευρώπη και τη Β. Αφρική. Για παράδειγμα οι χειμώνες στην Ευρώπη τα έτη 1996, 2009 και 2010, χαρακτηρίστηκαν από αρνητική φάση NAO και ήταν ασυνήθιστα κρύοι.



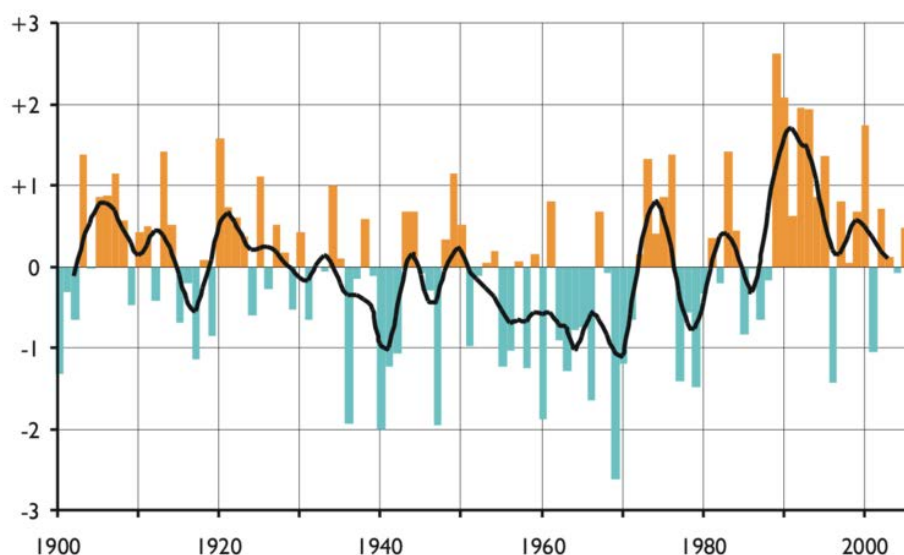
Εικόνα 1. Θετική και Αρνητική Φάση της Ταλάντωσης του Βόρειου Ατλαντικού.
(από Wikimedia Commons)

Οι διακυμάνσεις του φαινομένου, αν και είναι παρούσες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια των κρύων μηνών (Νοέμβριος- Απρίλιος), δηλαδή όταν η ατμόσφαιρα είναι δυναμικά πιο ενεργή. Αντίθετα, η κυριαρχία των υποτροπικών αντικυκλώνων (μιας μεγάλης κλίμακας κυκλοφορίας ανέμων γύρω από μια περιοχή υψηλής ατμοσφαιρικής πίεσης, έχοντας μια δεξιόστροφη φορά στο βόρειο ημισφαίριο, π.χ. στις Αζόρες, και αριστερόστροφη στο νότιο ημισφαίριο), λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, και το σύστημα αυτό -υψηλής πίεσης- καλύπτει το σύνολο σχεδόν του Β. Ατλαντικού. Βέβαια το χειμώνα οι αντικυκλώνες αποδυναμώνονται και επικρατεί το έντονο χαμηλό βαρομετρικό πάνω από την Ισλανδία.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, τις τελευταίες δεκαετίες και συγκεκριμένα από το 1980 και μετά επικρατεί μια τάση προς τις θετικές τιμές του δείκτη στην οποία πιθανόν να οφείλονται οι αυξημένες θερμοκρασίες στην Ευρώπη. Ειδικότερα τους χειμώνας των ετών 1989, 1993 και 1995 ο δείκτης NAO έχει τις μεγαλύτερες τιμές που έχουν καταγραφεί. Στην βόρεια Ευρώπη επικράτησαν υγρότερες και θερμότερες συνθήκες από τις κανονικές, ενώ το αντίθετο συνέβη στη νότια Ευρώπη. Οι Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου (2004) αναφέρουν ότι και για την περιοχή της Μεσογείου η μεταβλητότητα της NAO επιδρά στο βροχομετρικό

και θερμοκρασικό σύστημα. Υψηλές τιμές του δείκτη NAO σημαίνουν ζωνική κυκλοφορία και άρα καλοκαιρία στην ευρεία περιοχή της Μεσογείου, ενώ χαμηλές τιμές του δείκτη συνεπάγονται μεσημβρινή κυκλοφορία και άρα κακοκαιρία.

Η Βορειοατλαντική Κύμανση υπαγορεύει ένα μεγάλο μέρος της μεταβλητότητας του κλίματος, από τη βορειοαμερικάνικη ανατολική ακτή και τη Σιβηρία και από την Αρκτική μέχρι και τον υποτροπικό Ατλαντικό και είναι υπεύθυνη για τη συνολική φυσική μεταβλητότητα περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο τοπικό κλιματικό δείκτη.



Σχήμα 1. Δείκτης χειμερινού μέσου NAO.
(από Wikimedia Commons)

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται μια χρονοσειρά σχεδόν 150 ετών κανονικοποιημένης διαφοράς πίεσης μεταξύ σταθμών στην Ισλανδία και τις νήσους Αζόρες (δείκτης NAO). Τα δεδομένα του δείκτη NAO προέρχονται από τη βάση δεδομένων του Climate Research Unit (CRU) του πανεπιστημίου East Anglia και είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao>. Ενδεικτικά οι τιμές των δεικτών του χειμερινού NAO (από Δεκέμβριο μέχρι Μάρτιο) για τα έτη 2010 και 2011 είναι -2.54 και -0.91 αντίστοιχα. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μηνιαίες τιμές των δεικτών NAO για τα έτη 2009, 2010 και 2011.

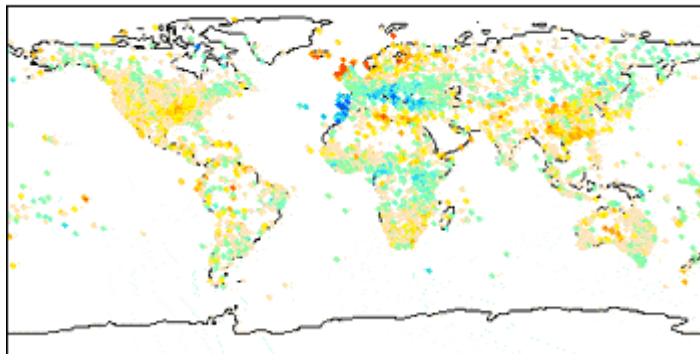
Πίνακας 1. Μηνιαίες τιμές δεικτών NAO

(από <http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>)

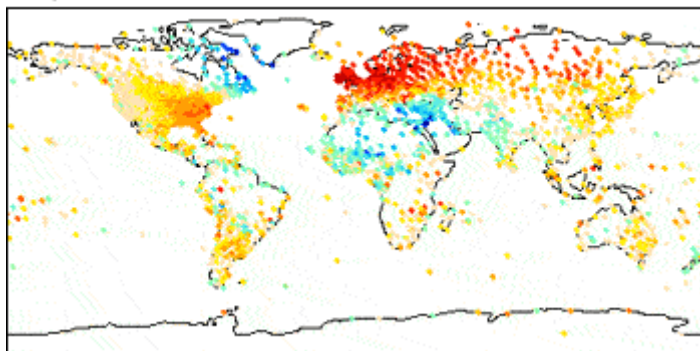
Monthly NAO index												
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009	+0.61	-1.43	+0.15	+1.74	+1.52	-3.05	-0.92	+1.07	-0.63	-2.00	+1.68	-3.72
2010	-2.38	-3.25	-0.80	-1.03	-1.66	-2.40	+0.06	-2.01	-2.38	-2.41	-3.34	-4.62
2011	-1.38	+2.79	-0.44	+2.39	+1.08							

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ της έντονης θετικής NAO, του υετού (precipitation) και της θερμοκρασίας. Θετική συσχέτιση σημαίνει ότι η περιοχή είναι πιο υγρή ή θερμή από ότι συνήθως, αρνητική συσχέτιση σημαίνει ότι η περιοχή είναι πιο ξηρή ή ψυχρή από ότι συνήθως και καμία συσχέτιση σημαίνει ότι η περιοχή δεν επηρεάζεται από τη NAO.

Precipitation



Temperature



Correlation

-1 -0.5 0 0.5 1

Εικόνα 2. Συσχέτιση μεταξύ έντονης θετικής NAO με Υετό και Θερμοκρασία (από την ιστοσελίδα <http://earthobservatory.nasa.gov>)

Οι αέριες μάζες σε χαμηλά βαρομετρικά στο βόρειο ημισφαίριο κατευθύνονται αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού, ενώ σε

υψηλά βαρομετρικά δεξιόστροφα. Ως εκ τούτου, η θετική φάση της ταλάντωσης συνδέεται με ισχυρούς δυτικούς ανέμους στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη του βόρειου Ατλαντικού προς την Ευρώπη, με ανώμαλη νότια ροή στις ανατολικές ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και με ανώμαλη βόρεια ροή σε ολόκληρη τη δυτική Γροιλανδία, την καναδική Αρκτική και τη Μεσόγειο.

2.Μηχανισμοί NAO

Υπάρχουν άφθονες ενδείξεις ότι το μεγαλύτερο μέρος της μεταβλητότητας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της NAO προκύπτει από την εσωτερική, μη γραμμική δυναμική της εξωτροπικής ατμόσφαιρας. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ Μέσης Ροής (Time-Mean Flow, T-MF) και βραχύβιων στροβίλων συνοπτικής χρονικής κλίμακας (Synoptic Timescale Transient Eddies, STTE) αποτελούν τον κυρίαρχο μηχανισμό δυναμικής της ατμόσφαιρας (Hurrell et al. 1995). Υπό αυτήν την έννοια, οι μηνιαίες και ετήσιες μεταβολές στη φάση και το εύρος της NAO είναι σε μεγάλο βαθμό απρόβλεπτες. Ωστόσο είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις εξωτερικές δυνάμεις οι οποίες ωθούν την ατμόσφαιρα σε υψηλό ή χαμηλό δείκτη κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου μήνα ή μιας εποχής, διότι ακόμη και μια μικρή πρόβλεψη θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για τις επιδράσεις της κύμανσης στο κλίμα, τα οικοσυστήματα του βόρειου ημισφαιρίου της γης και την κατανόηση του φαινομένου.

Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί που θα μπορούσαν να εξηγήσουν την κατάσταση της NAO. Μέσα στην ίδια την ατμόσφαιρα έχει αποδειχθεί πως οι μεταβολές του ρυθμού και της θέσης της τροπικής θέρμανσης, επηρεάζουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην άνω περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού και ιδιαίτερα της NAO. Η κάθετη μεταφορά τροπικού αέρα σε σημείο βαρομετρικού χαμηλού, επηρεάζεται από την κατανομή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, η οποία παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Επιπρόσθετα, η πρόσφατη θέρμανση των τροπικών ωκεανών είναι ασύμφωνη με τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Αυτό ίσως οδηγήσει

σε κάποια προβλεψιμότητα του φαινομένου NAO, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής που οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα. Πράγματι, ενώ οι λεπτομέρειες ποικίλλουν από μοντέλο σε μοντέλο, τα περισσότερα μοντέλα κλίματος προσομοιώνουν αύξηση του δείκτη NAO στο τέλος του 21ου αιώνα, με σχετικές μετατοπίσεις στις διαδρομές των θυελλών και άλλων ακραίων καιρικών φαινομένων.

Επίσης, σημαντικές είναι οι αλληλεπιδράσεις με την χαμηλότερη στρατόσφαιρα, οι οποίες θα μπορούσαν να εξηγήσουν με ποιον τρόπο οι μεταβολές στην ατμοσφαιρική σύσταση επηρεάζουν την NAO. Παραδείγματος χάριν, οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις του όζοντος, των θερμοκηπιακών αερίων και των επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας έχουν επιπτώσεις στο ισοζύγιο ακτινοβολίας της στρατόσφαιρας, οι οποίες με τη σειρά τους διαμορφώνουν την ένταση της χειμερινής πολικής δίνης (Winter Polar Vortex). Λαμβάνοντας υπόψη τις μακροπρόθεσμες χρονικές κλίμακες των μεταβολών στην κυκλοφορία της στρατόσφαιρας (οι ανωμαλίες εμμένουν για εβδομάδες), θα μπορούσαν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την κύμανση κατά τη χειμερινή περίοδο.

Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της ανθρωπογενούς κλιματικής ώθησης (Forcing) και της κύμανσης αποτελεί επείγουσα πρόκληση. Λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό αντίκτυπο που ασκεί η NAO στο κλίμα, την οικονομία και τα οικοσυστήματα του βόρειου ημισφαιρίου, είναι πολύ σημαντική η αποσαφήνιση των μηχανισμών που καθορίζουν τη δομή και τη μεταβλητότητά της στο χρόνο.

3. Προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της NAO

Δεν υπάρχει ένας μοναδικός τρόπος για τον προσδιορισμό της NAO. Έχουν συζητηθεί πολλές προσεγγίσεις συμπεριλαμβανομένων των γραμμικών τεχνικών, όπως ανάλυση στις κύριες συνιστώσες (principal component analysis) και μη γραμμικών τεχνικών (π.χ. ανάλυση με ομαδοποίηση -cluster analysis- ή μη γραμμική ανάλυση στις κύριες συνιστώσες). Η πρώτη, η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο, θεωρεί ότι οι καταστάσεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμφανίζονται σε ζεύγη, στα οποία "ανωμαλίες" (η διαφορά μεταξύ της στιγμιαίας κατάστασης του κλιματικού

συστήματος και της κλιματολογικής μέσης κατάστασης) αντίθετης πολικότητας έχουν την ίδια χωροταξική δομή. Σε αυτήν την προσέγγιση η NAO προσδιορίζεται από τα ιδιοανύσματα του πίνακα συνδιακύμανσης, υπολογισμένου από τις χρονικές διακυμάνσεις των τιμών της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (SLP) ή κάποιας άλλης κλιματικής μεταβλητής. Στη συνέχεια, τα ιδιοανύσματα ταξινομούνται ανάλογα με την ποσότητα της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων που εκφράζουν.

Οι μεγαλύτερες ανωμαλίες στην πίεση εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των μηνών του χειμώνα. Ωστόσο κατά τη διάρκεια του χρόνου, το κυριότερο μοτίβο διακύμανσης χαρακτηρίζεται από ένα δίπολο επιφανειακής πίεσης στο οποίο αναγνωρίζεται η NAO. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος), η NAO εμφανίζεται με έναν ελαφρό Βορειοδυτικό προς Νοτιανατολικό προσανατολισμό. Το ότι το μοτίβο του διαστήματος που καταλαμβάνει η NAO παραμένει πανομοιότυπο κατά τη διάρκεια του έτους δεν συνεπάγεται ότι έχει την τάση να παραμένει στην ίδια φάση για πολύ καιρό. Αντίθετα είναι πολύ ευμετάβλητο, έχοντας την τάση να αλλάζει φάση από τον ένα μήνα στον άλλον.

Αντίθετα, οι μη-γραμμικές τεχνικές αποκαλύπτουν χωροταξικές ασυμμετρίες μεταξύ διαφορετικών φάσεων της NAO οι οποίες είναι σημαντικές για τις οικολογικές μελέτες. Συγκεκριμένα, η ανάλυση με ομαδοποίηση είναι μία στατιστική τεχνική πολλαπλών μεταβλητών η οποία προσανατολίζεται σε επαναλαμβανόμενα μοτίβα συγκεκριμένου εύρους και προσήμου. Η τεχνική αυτή η ομαδοποιεί τους ημερήσιους χάρτες της πίεσης σε έναν μικρό αριθμό αντιπροσωπευτικών συστημάτων σύμφωνα με ένα κριτήριο ομοιότητας. Ο αλγόριθμος ομαδοποίησης για τον Ατλαντικό εντοπίζει στην πίεση τέσσερα κλιματικά συστήματα του χειμώνα, τα δύο από τα οποία αντιστοιχούν στην θετική και στην αρνητική φάση της NAO. Και τα τέσσερα συστήματα εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα (20-30% όλων των ημερών του χειμώνα), παρόλο που τα νούμερα αυτά ποικίλλουν ανάλογα με την περίοδο της ανάλυσης.

Σύμφωνα με συγκρίσεις που έγιναν μεταξύ των πιο συνηθισμένων μετρήσεων προέκυψε ότι δεν υπάρχει προτιμώμενη χρονική κλίμακα

διακύμανσης για τη NAO: μεγάλες αλλαγές εμφανίζονται από τον έναν χειμώνα στον επόμενο και από την μια δεκαετία στην επόμενη (Hurrell W., 2010). Επιπλέον, υπάρχει μεγάλη διακύμανση εντός των εποχών στα μοτίβα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του Βόρειου Ατλαντικού, γι'αυτό οι περισσότεροι χειμώνες δεν μπορούν να χαρακτηριστούν από μία κανονική δομή NAO.

4. Επιπτώσεις της Βορειοατλαντικής Κύμανσης

Η NAO συνοδεύεται από μεταβολές στη ταχύτητα και την κατεύθυνση ανέμου στον Ατλαντικό ωκεανό και αυτό με τη σειρά του μεταβάλλει σημαντικά τη μεταφορά θερμότητας και υγρασίας προς την Ευρώπη. Κατά τη διάρκεια χειμώνων με θετικό δείκτη NAO, οι ενισχυμένοι δυτικοί άνεμοι πάνω από το Βόρειο Ατλαντικό μετακινούν σχετικά θερμό και υγρό θαλάσσιο αέρα προς μεγάλο μέρος της Ευρώπης και ακολούθως προς την Ασία. Ισχυρότεροι βόρειοι άνεμοι φέρουν κρύο αέρα προς τον νότο και ρίχνουν τις επιφανειακές θερμοκρασίες εδάφους και θάλασσας πάνω από το βορειοδυτικό Ατλαντικό .

Επίσης, παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας στην Βόρεια Αφρική και αύξηση της θερμοκρασίας στην Μέση Ανατολή και στην Βόρεια Αμερική. Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται με ισχυρότερη δεξιόστροφη ροή ανέμων γύρω από το υποτροπικό ατλαντικό υψηλό (subtropics high). Αυτή η φάση των μεταβολών θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Επειδή η θερμοχωρητικότητα των ωκεανών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του εδάφους, οι ηπειρωτικές μεταβολές θερμοκρασίας είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες των ωκεανών και συνεπώς επηρεάζουν σημαντικά τη μέση μεταβλητότητα της θερμοκρασίας στο βόρειο ημισφαίριο.

Οι ετήσιες μεταβολές της μέσης χειμερινής θερμοκρασίας εδάφους στο βόρειο ημισφαίριο ερμηνεύονται κατά το ένα τρίτο από την ταλάντωση των φάσεων της NAO. Επιπλέον, οι μακροπρόθεσμες αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία που συνδέονται με το δείκτη NAO έχουν συμβάλει ουσιαστικά, τις τελευταίες δεκαετίες, στη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες στο βόρειο ημισφαίριο. Οι

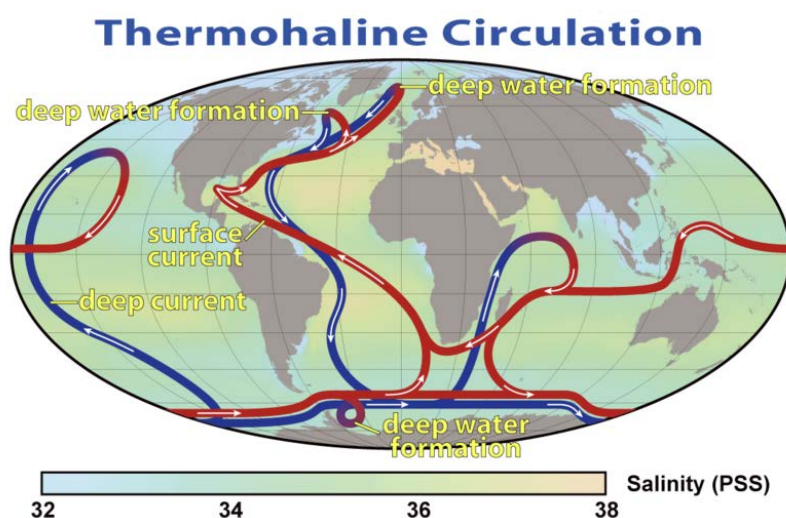
μεταβολές στην κίνηση αερίων μαζών που συνδέονται με τη ΝΑΟ, πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό, συνοδεύονται επίσης με αλλαγές στην ένταση και την πορεία θυελλών, δηλαδή ατμοσφαιρικών διαταραχών που κρατάνε περίπου μια εβδομάδα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, μια καθορισμένη διαδρομή θύελλας συνδέει τις λεκάνες Βόρειου Ειρηνικού και Βόρειου Ατλαντικού, με μέγιστη δραστηριότητα πάνω από τους ωκεανούς. Οι χειμώνες με θετικό δείκτη ΝΑΟ συνδέονται με μια βορειοανατολική μετατόπιση θυελλών προς τον Ατλαντικό, με ενισχυμένη δράση στην νότια Γροιλανδία, την Ισλανδία, τη βόρεια Ευρώπη και μια μείωση στη δραστηριότητα από τις Αζόρες προς την Μεσόγειο.

Ο ωκεανός βιώνει τα αποτελέσματα των θυελλών υπό μορφή επιφανειακών κυμάτων, έτσι ώστε να εμφανίζει μια μετρήσιμη αντίδραση στις μεγάλης διάρκειας μετατοπίσεις του θυελλώδους κλίματος. Η αλλαγή προς χειμώνες ΝΑΟ+ έχει συνδεθεί με αυξημένα ύψη επιφανειακών κυμάτων πάνω από το βορειοανατολικό ατλαντικό και μειωμένο ύψος κυμάτων στα γεωγραφικά πλάτη νότια του 40°N. Τέτοιες αλλαγές έχουν συνέπειες στην ναυτιλία (λειτουργία και ασφάλεια πλοίων), σε βιομηχανίες ανοικτής θαλάσσης, και στην παράκτια ανάπτυξη.

Λόγω ΝΑΟ έχουμε επίσης έντονες αλλαγές στην μεταφορά και σύγκλιση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Κατά τη διάρκεια των χειμώνων ΝΑΟ+, οι χειμώνες είναι ξηρότεροι πάνω από μεγάλο μέρος της Γροιλανδίας, της καναδικής Αρκτικής, ένα μεγάλο μέρος της κεντρικής και νότιας Ευρώπης, της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, ενώ η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη στην Ισλανδία και Σκανδιναβία. Το σχέδιο αυτό, μαζί με την μεταβολή προς θετικότερους χειμώνες ΝΑΟ, από το τέλος δεκαετίας του '60, είναι σύμφωνο με τις πρόσφατες παρατηρηθείσες αλλαγές στην βροχόπτωση πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της ατλαντικής λεκάνης.

Οι σημαντικές αλλαγές στην επιφανειακή θερμοκρασία του ωκεανού, τα ωκεάνια ρεύματα και η σχετική μεταφορά θερμότητάς τους, η κάλυψη θαλάσσιου πάγου στις αρκτικές περιοχές, αποτελούν επιπρόσθετες επιδράσεις οι οποίες προκαλούνται από τις αλλαγές της Βορειοατλαντικής

Κύμανσης. Για παράδειγμα, η ωκεάνια απόκριση περιλαμβάνει αλλαγές στη διανομή και την ένταση των χειμερινών οριζοντίων ρευμάτων στο Βόρειο Ατλαντικό. Η κάθετη ανανέωση στα ενδιάμεσα και βαθιά νερά της θάλασσας του Λαμπραντόρ και της θαλάσσιας περιοχής μεταξύ Γροιλανδίας-Ισλανδίας-Νορβηγίας, συμβάλλουν στην ανοδική κίνηση υδάτινων μαζών που προέρχονται από μεγαλύτερο βάθος στο Βόρειο Ατλαντικό και συμβάλουν στην κυκλοφορία θερμοαλατότητας (thermohaline circulation- THC) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Thermohaline Circulation
(από Wikimedia Commons)

Πιο αναλυτικά, ο όρος κυκλοφορία θερμοαλατότητας αναφέρεται στην μεγάλης κλίμακας ωκεάνια κυκλοφορία που κατευθύνεται από τις παγκόσμιες διαφορές πυκνότητας που δημιουργούνται από την επιφανειακή θερμότητα και τις ροές γλυκού νερού. Η λέξη "θερμοαλατότητα" προέρχεται από το πρόθεμα "θερμο" που αναφέρεται στη θερμοκρασία και τη λέξη "αλατότητα" που αναφέρεται στην περιεκτικότητα σε αλάτι, παράγοντες που καθορίζουν από κοινού την πυκνότητα του θαλασσινού νερού. Επιφανειακά ρεύματα ωθούμενα από τον άνεμο (όπως το ρεύμα του Κόλπου) κατευθύνονται από τον Ισημερινό του Ατλαντικού Ωκεανού προς τους πόλους, ψυχόμενα αυτό το διάστημα και τελικά βυθίζονται στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη (σχηματίζοντας τα βαθιά νερά του Βορείου Ατλαντικού). Αυτό το νερό μεγάλης πυκνότητας ρέει στη συνέχεια στις λεκάνες του πυθμένα των ωκεανών. Ενώ το

μεγαλύτερο μέρος του καταλήγει στο Νότιο Ωκεανό, τα παλαιότερα νερά (με χρόνο διέλευσης περίπου 1600 χρόνια) κατευθύνονται στον Βόρειο Ειρηνικό. Πραγματοποιείται επομένως εκτενής ανάμιξη μεταξύ των ωκεάνιων λεκανών, μειώνοντας τις διαφορές μεταξύ τους και μετατρέποντας τους ωκεανούς της Γης σε ένα παγκόσμιο σύστημα. Κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους, οι μάζες νερού μεταφέρουν τόσο ενέργεια (με τη μορφή θερμότητας) όσο και ύλη (στερεά, διαλυμένες ουσίες και αέρια) σε όλο τον κόσμο. Ως εκ τούτου, η κατάσταση της κυκλοφορίας έχει μεγάλο αντίκτυπο στο κλίμα της Γης. Επιπλέον, η ισχυρότερη διαχρονική μεταβλητότητα του αρκτικού θαλάσσιου πάγου εμφανίζεται στον τομέα του Βόρειου Ατλαντικού και οδηγείται κυρίως από τις αλλαγές στη ΝΑΟ

4.1 Επίδραση στη θαλάσσια οικολογία

Οι οικολογικές διεργασίες επηρεάζονται από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Οι ερευνητές επισημαίνουν ότι η ΝΑΟ δεν είναι άμεσα υπεύθυνη για τις αλλαγές που παρατηρούνται π.χ. στη βιολογία των θαλάσσιων κοινοτήτων, αλλά οι τοπικές φυσικές αλλαγές που σχετίζονται με την κύμανση που είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές στα οικοσυστήματα. Υπάρχουν τεκμηριωμένες επιδράσεις του φαινομένου σε μια ποικιλία διεργασιών, όπως π.χ. στην υδρογραφία, στην κατακόρυφη ανάμιξη/κυκλοφορία και μεταφορά υδάτινων μαζών, στην αλατότητα, στο σχηματισμό πάγων του Β. Ατλαντικού, στις χιονοπτώσεις που με τη σειρά τους επηρεάζουν άμεσα πολλά βιολογικά χαρακτηριστικά σε άμεσο επίπεδο, όπως η αναπαραγωγή και η φυσιολογία των θαλάσσιων οργανισμών και έμμεσα κάποια άλλα όπως η διαθεσιμότητα τροφής, η ύπαρξη θηρευτών και ανταγωνιστών εντός του οικοσυστήματος κ.ά. Επίσης, το κλίμα επηρεάζει τη γεωγραφική εξάπλωση και την αφθονία των οργανισμών. Για παράδειγμα κάποιοι οργανισμοί μεταναστεύουν προς το Βορρά, λόγω της θέρμανσης των υδάτων ή την τήξη των πάγων, άρα και την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα φωτός στη θάλασσα για πλαγκτόν (φωτοσύνθεση) και παραγωγή τροφής.

Η θετική τάση της κύμανσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 90 έπαιξε σημαντικό ρόλο στην θέρμανση της Βόρειας Θάλασσας, όπου και

συνέβαλε στη μείωση της επιβίωσης των προνυμφών γάδου (*Gadus morhua*), οι οποίες για την περιοχή της Β. Θάλασσας, βρίσκονται στα άνω όρια της θερμικής αντοχής τους (Hurrell et. Al., 2003). Οι υψηλότερες από τα κανονικά επίπεδα θερμοκρασίες μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις, είτε άμεσα είτε έμμεσα για το είδος ψαριού. Η αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με την έντονη αλιεία και την κακή διαχείριση των αποθεμάτων εκείνη τη δεκαετία, συνέβαλαν αρνητικά στην επιβίωση του γόνου και την ανάπτυξη διαφόρων ειδών ψαριού και θαλάσσιων οργανισμών γενικότερα.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η χαοτική φύση της ατμόσφαιρας παρρεκλίνει από τα βασικά χαρακτηριστικά που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της θετικής και αρνητικής φάσης NAO. Οι αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία στο βόρειο Ατλαντικό ευθύνονται για διάφορες άλλες αλλαγές στο κλίμα των υποτροπικών και βορείων περιοχών του Ατλαντικού και έχουν προσθέσει ένα σημαντικό θέμα συζήτησης, ακόμη και αμφισβήτησης για το αν είμαστε σε θέση να εντοπίσουμε και να ξεχωρίσουμε τις αλλαγές του κλίματος που οφείλονται σε φυσικά και ανθρωπογενή αίτια. Η βελτίωση της κατανόησης της σχέσης μεταξύ NAO – κλίματος, της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και της επίδρασης στην οικολογία και την βιολογία των οργανισμών, αποτελεί βασικό θέμα μελέτης οικολογικών και κλιματικών ερευνών.

4.2 Επίδραση στη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, κατά τη θετική φάση της κύμανσης, μεταφέρονται θερμές και υγρές αέριες μάζες από τη θάλασσα πάνω από την Ευρώπη και κατά μήκος της, ενώ οι ισχυρότεροι βόρειοι άνεμοι που έρχονται από τη Γροιλανδία και το Βορειοανατολικό Καναδά μεταφέρουν ψυχρές μάζες αέρα και μειώνουν τη θερμοκρασία τη γης πάνω από το βορειοδυτικό Ατλαντικό. Αξιοσημείωτες είναι οι θερμοκρασιακές μεταβολές πάνω από τη Β. Αφρική, τη Μέση Ανατολή καθώς επίσης και τη Β. Αμερική, οι οποίες σχετίζονται με την δεξιόστροφη ροή γύρω από το υψηλό βαρομετρικό του υποτροπικού Ατλαντικού, η οποία είναι ισχυρότερη. Οι θερμοκρασιακές αυτές μεταβολές είναι σημαντικές. Επειδή

η θερμοχωρητικότητα των ωκεανών είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του εδάφους, οι αλλαγές στην παγκόσμια θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές στην επιφάνεια των ωκεανών, γι' αυτό τείνουν να επικρατούν στη διακύμανση της θερμοκρασίας του βόρειου ημισφαιρίου. (Wallace et al., 1995).

Αξιοσημείωτη επίσης είναι η θέρμανση που σχετίζεται με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας τις τελευταίες δεκαετίες και λαμβάνει χώρα στις βορειότερες ηπείρους κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης. Από τα τέλη του 1980 οι θερμοκρασίες του χειμώνα είναι 1-2 °C μεγαλύτερες από το μέσο όρο πάνω από τη Β. Αμερική, τη Β. Ευρώπη και την Ασία, ενώ οι θερμοκρασίες πάνω από τους βορειότερους ωκεανούς είναι λίγο μικρότερες από το μέσο όρο. Το μοτίβο αυτό σχετίζεται σημαντικά με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, η οποία εκφράζεται με χαμηλότερα από το μέσο όρο επίπεδα πίεσης πάνω από τη θάλασσα στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη του Ειρηνικού και Ατλαντικού ωκεανού και υψηλότερα επίπεδα από το μέσο όρο στον υποτροπικό Ατλαντικό. Οι μεταβολές του επιπέδου πίεσης πάνω από τη θάλασσα του Ατλαντικού απεικονίζουν ξεκάθαρα την επικράτηση του NAO στη θετική του φάση αυτή τη περίοδο.

4.3 Επίδραση στην οικονομία

Οι σημαντικές αλλαγές που επιφέρει η NAO στις χειμερινές βροχοπτώσεις και τη θερμοκρασία, έχουν αντίκτυπο και στην οικονομία. Υπάρχουν άφθονα στοιχεία που φανερώνουν το σημαντικό ρόλο που παίζει η Βορειοατλαντική Κύμανση στην οικονομία, από το κόστος για βελτίωση της προστασίας των παράκτιων περιοχών και τον επανασχεδιασμό των πλατφόρμων πετρελαίου για να αντιμετωπιστούν τα αυξημένου ύψους - λόγω της κύμανσης NAO- κύματα στα ανοιχτά των θαλασσών μέχρι τις αλλαγές στον τουρισμό που σχετίζονται με τις χιονοπτώσεις στις Άλπεις και άλλες περιοχές της Ευρώπης παρόμοιου ενδιαφέροντος. Ακόμη, μερικές έρευνες έδειξαν ότι η πιθανότητα να πέσει ένας ισχυρός τυφώνας στα ανατολικά παράλια των ΗΠΑ εξαρτάται από τη φάση της NAO (Elsner et al., 2000).

Οι Cullen και deMenocal (2000) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ του NAO και της ροής των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη. Ένα μείζον ζήτημα σε αυτήν την περιοχή έχει να κάνει με τη διαθεσιμότητα υδάτινων αποθεμάτων για το πότισμα των αγροτικών εκτάσεων στη Μ. Ανατολή. Η μείωση των βροχοπτώσεων που συνδέεται με τη μακροπρόθεσμη τάση του δείκτη NAO είχε καταστροφικές συνέπειες στην απόδοση των σοδειών και συντέλεσε στις έντονες διαμάχες ανάμεσα στην Τουρκία - όπου έχουμε μεγαλύτερη βροχόπτωση - και τη Συρία σχετικά με την εκμετάλλευση των υδάτων των ποταμών.

Επίσης, μια πρόσφατη έρευνα (Cherry et. al., 2005) ασχολήθηκε με τις επιπτώσεις της NAO στην οικονομία των Σκανδιναβικών χωρών, λόγω των μεταβολών στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις. Η Νορβηγία και το ενεργειακό εμπόριο με τη Σουηδία μελετήθηκαν επειδή ο ενεργειακός τομέας της Νορβηγίας παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την ανάλυση της σχέσης μεταξύ του κλίματος και της παραγωγής ενέργειας. Η Νορβηγία είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας πετρελαίου και αερίου του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organization of Economic Cooperation and Development-OECD) και αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο εξαγωγέα πετρελαίου στον κόσμο. Το κλίμα και η τοπογραφία της χώρας είναι τέτοιο που την καθιστά ιδανική για την εγκατάσταση υδροηλεκτρικών μονάδων για την παραγωγή ενέργειας. Περισσότερη από το 99% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από τέτοιες μονάδες ενώ η Νορβηγία έχει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο στον κόσμο. Η Σουηδία όμως παράγει μόνο το 47% από υδροηλεκτρικές μονάδες και 47% από πυρηνικές εγκαταστάσεις. Η Σουηδία υπό κανονικές συνθήκες, προσαρμόζει την παραγωγή ηλεκτρισμού με πυρηνικούς αντιδραστήρες μειώνοντάς την, την περίοδο από Μάρτιο μέχρι Οκτώβριο επειδή η κατανάλωση ρεύματος είναι χαμηλότερη και τα πλούσια αποθέματα νερού ευνοούν την παραγωγή ενέργειας σε υδροηλεκτρικές μονάδες. Και οι δύο χώρες υποβλήθηκαν σε απελευθέρωση αγοράς και μαζικές ιδιωτικοποιήσεις κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990. Αυτό έκανε το εμπόριο ηλεκτρισμού από χώρα σε χώρα εφικτό στη Σκανδιναβία. Το 1993

δημιουργήθηκε το λεγόμενο “Nord Pool” που ουσιαστικά ήταν το πρώτο πολυεθνικό εμπόριο ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο.

Η στάθμη νερού στα φράγματα της Νορβηγίας εξαρτάται φυσικά από την ετήσια βροχόπτωση. Μέχρι το 1996 είχαμε μια σειρά από υγρούς χειμώνες, κάτι το οποίο σχετίζεται με τη θετική φάση της NAO, επομένως μεγάλα αποθέματα νερού για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το 1995 οι εταιρίες παραγωγής ηλεκτρισμού της Νορβηγίας πουλήσανε συμβόλαια για παροχή ρεύματος, τόσο σε εγχώριους πελάτες, όσο και στο εξωτερικό. Στις αρχές του 1996 όμως και για περίπου ένα χρόνο, υπήρξε μια δραματική μείωση στη βροχόπτωση, η οποία είχε άμεση σχέση με τις μεγάλες τιμές αρνητικού δείκτη. Η μείωση αυτή οδήγησε στη συρρίκνωση των αποθεμάτων νερού και η λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών περιορίστηκε. Οι εταιρίες με τη σειρά τους αδυνατούσαν να τηρήσουν τα συμβόλαια για διανομή ρεύματος, κυρίως στο εξωτερικό και αναγκάστηκαν να εισάγουν μια μεγάλη ποσότητα ηλεκτρισμού από τα εργοστάσια της Δανίας τα οποία χρησιμοποιούσαν άνθρακα. Φυσικά η αξία του ρεύματος αυξήθηκε τόσο για τις εταιρίες, όσο και για τους καταναλωτές. Αυτή η ταλάντωση της φάσης NAO κέντρισε το ενδιαφέρον πολλών μελετών, για τη φυσική σχέση μεταξύ της κύμανσης και των αποθεμάτων νερού για παραγωγή ηλεκτρισμού στη Νορβηγία. Επειδή το κλίμα στη Νορβηγία και τη Σουηδία επηρεάζεται κάπως διαφορετικά από τη NAO και οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρισμού κατανέμονται διαφορετικά (υδροηλεκτρικές μονάδες, πυρηνικά εργοστάσια και μονάδες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα), κάθε χώρα μπορεί να έχει πλεονέκτημα έναντι της άλλης κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες κλίματος. Εάν επικρατεί αρνητική φάση NAO και η βροχόπτωση είναι περιορισμένη, οι εταιρίες της Νορβηγίας αναγκάζονται να αγοράσουν ρεύμα από τα πυρηνικά εργοστάσια της Σουηδίας. Αντίθετα, εάν το φαινόμενο είναι στη θετική του φάση, και τα αποθέματα νερού είναι μεγάλα, η Σουηδία δύναται να αγοράσει ρεύμα από τη Νορβηγία, μια λύση μάλλον πιο φθηνή από το να παράγει η ίδια την επιπλέον αυτή ποσότητα στα πυρηνικά εργοστάσια. Η ύπαρξη του πολυεθνικού αυτού εμπορίου καθιστά τη μέθοδο παραγωγής ηλεκτρισμού από τη δυναμική ενέργεια του νερού πολύ πιο αξιόπιστη σε σχέση με την χρήση ορυκτών καυσίμων (άνθρακα).

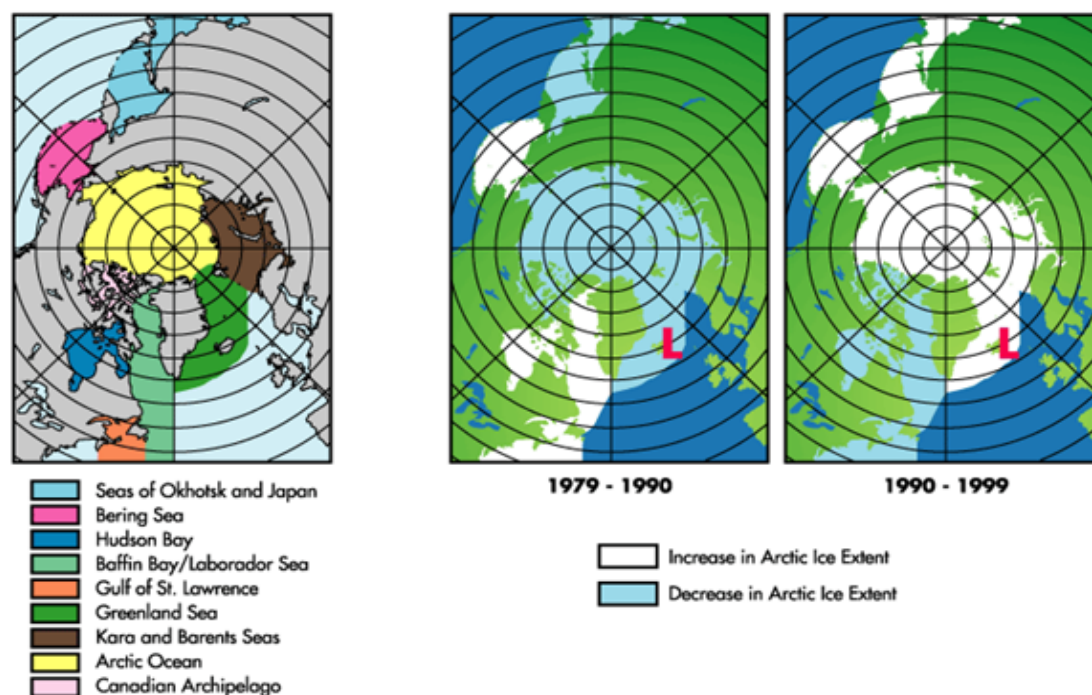
4.4 Μεταφορά ρύπων προς την Αρκτική

Η Βορειοατλαντική Κύμανση παίζει καθοριστικό ρόλο στη μεταφορά ρύπων προς την Αρκτική, ειδικότερα το χειμώνα και την άνοιξη. Οι επιφανειακές συγκεντρώσεις NO_2 και CO στην Αρκτική το χειμώνα είναι ενισχυμένες κατά περίπου 70% κατά τη διάρκεια του θετικού δείκτη NAO (NAO^+) σε σύγκριση με τον αρνητικό δείκτη NAO (NAO^-). Αυτό οφείλεται κυρίως στις μεγάλες διαφορές στις πορείες της μεταφερόμενης ευρωπαϊκής ρύπανσης κατά τη διάρκεια των NAO^+ και NAO^- αντίστοιχα, αλλά ενισχύεται και από τη ρύπανση της Βόρειας Αμερικής, η οποία με τη σειρά της ενισχύεται στην Αρκτική κατά τη διάρκεια του θετικού δείκτη NAO. Αντίθετα, η μεταφορά ασιατικής ρύπανσης στην Αρκτική δε βασίζεται σημαντικά στον δείκτη NAO.

Η παρατήρηση ότι η NAO ελέγχει την εκροή ρύπανσης από ηπείρους του βόρειου ημισφαιρίου στην Αρκτική πιθανόν να έχει σημαντικές επιπτώσεις. Κατά τη διάρκεια των περασμένων δεκαετιών, υπήρξε μια θετική τάση στη NAO (Hurrell, 1995), εξηγώντας εν μέρει γιατί η αλλαγή κλίματος στην Αρκτική ήταν πιθανόν γρηγορότερη από οπουδήποτε αλλού στον κόσμο. Τα ανθρωπογενή αερολύματα μειώνουν τα μεγέθη των σταγονιδίων των νεφών, κάτι το οποίο οδηγεί σε μειωμένη ένταση ακτινοβολίας λόγω της αύξησης της ανακλαστικότητας των νεφών (Hurrell, 1995). Ωστόσο, στις συνθήκες της Αρκτικής (μεγάλες ηλιακές ζενίθιες γωνίες, υψηλή ανακλαστικότητα της επιφάνειας λόγω χιονιού και πάγου), η αυξημένη ανακλαστικότητα των νεφών δεν οδηγεί σε ψύξη επιφάνειας. Αντίθετα, τα αερολύματα και τα λεπτά σύννεφα ζεσταίνουν την επιφάνεια, αυξάνοντας την ανακλαστικότητα ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Επομένως, μέρος της παρατηρούμενης θέρμανσης της Αρκτικής μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη μεταφορά ανθρωπογενούς ρύπανσης στην Αρκτική κατά τη διάρκεια των περασμένων δεκαετιών, που προέκυψε τόσο από την αύξηση των εκπομπών όσο και από την θετική τάση της NAO. Πολύ πρόσφατα όμως, η Αρκτική ψύχθηκε και έγινε λιγότερο νεφοσκεπής το χειμώνα, γεγονός το οποίο θα μπορούσε να συνδεθεί με πρόσφατες μειώσεις εκπομπών στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, ενώ η NAO έχει σταθεροποιηθεί την τελευταία δεκαετία (Eckhardt et. al., 2003). Αυτή η

υπόθεση είναι θεωρητική αυτή τη στιγμή, αλλά θα μπορούσε να εξετασθεί με κλιματικά μοντέλα.

4.5 Επίδραση στους παγετώνες



Εικόνα 4. Η έκταση των πάγων της Αρκτικής Θάλασσας (από Wikimedia Commons)

Οι παραπάνω χάρτες του βόρειου ημισφαιρίου δείχνουν τις εννέα περιοχές που μελετήθηκαν από τον Claire Parkinson του κέντρου διαστημικής πτήσης Goddard της NASA ως προς την κάλυψη της θάλασσας με πάγο πριν και μετά το 1990, όταν ο ετήσιος δείκτης NAO είχε την μέγιστη τιμή του (Parkinson, 2008). Το λευκό χρώμα υποδηλώνει μία αύξηση της κάλυψης πάγου στην περιοχή εκείνη, ενώ το ανοιχτό μπλε χρώμα αναπαριστά μία μείωση στην συνολική κάλυψη πάγου.

Ο πρώτος χάρτης παρουσιάζει την περίοδο από το 1979 μέχρι το 1990 όταν ο ετήσιος δείκτης NAO γενικά αυξανόταν. Αυτό σήμαινε την αύξηση της ποσότητας του κρύου αέρα που διέρρεε δυτικά και νότια γύρω από την περιοχή της Ισλανδίας με βαρομετρικό χαμηλό, οδηγώντας σε αύξηση της έκτασης των πάγων στον Κόλπο Baffin/ Θάλασσα Labrador, στον κόλπο Hudson και στον Κόλπο του Saint Lawrence. Κατά την ίδια

περίοδο, στο ανατολικό τμήμα του κέντρου του χαμηλού βαρομετρικού, όλο και περισσότερος θερμός αέρας από τα νότια κατευθύνεται προς τα πάνω, μειώνοντας τους πάγους στις θάλασσες Kara και Barents, τον Αρκτικό Ωκεανό και, σε μικρότερη έκταση, στην θάλασσα της Γροιλανδίας, όπως υποδηλώνεται με το ανοιχτό μπλε χρώμα πάνω σε αυτές τις περιοχές.

Αντίστροφα, στον δεύτερο χάρτη παρουσιάζεται η περίοδος από το 1990 έως το 1999, όπου η κάλυψη των πάγων μειώθηκε (αναπαριστάται με το ανοιχτό μπλε) στον Κόλπο Baffin/ Θάλασσα Labrador, στον κόλπο Hundson και στον Κόλπο του Saint Lawrence, αλλά αυξήθηκε (με το λευκό) στις θάλασσες Kara και Barents, στον Αρκτικό Ωκεανό και την θάλασσα της Γροιλανδίας. Αυτή η μεταστροφή της έκτασης των πάγων αποτελεί ένδειξη της επίπτωσης της NAO.

Βόρεια της δυτικής Ρωσικής ενδοχώρας βρίσκεται το Αρχιπέλαγος του νησιού Novaya Zemlya. Το βόρειο τμήμα του νησιού είναι καλυμμένο με παγετώνες και αποτελεί μια ενδιαφέρουσα τοποθεσία έρευνας για τις επιπτώσεις της NAO και της αλλαγής του κλίματος στους παγετώνες. Το νησί βρίσκεται στον Αρκτικό Ωκεανό, μεταξύ της θάλασσας Barents προς τα δυτικά και την θάλασσα Kara στα ανατολικά. Οι αυξημένες θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας φαίνεται να αντανakλούν μία αυξημένη κίνηση θερμών νερών του βόρειου Ατλαντικού που σχετίζονται με θετική NAO. Οι χειμερινές θερμοκρασίες συσχετίζονται με την NAO αντανakλώντας την επαναλαμβανόμενη εισχώρηση των Ατλαντικών κυκλώνων στην Αρκτική. Υπάρχει μία καθυστέρηση τριών με πέντε χρόνων μεταξύ μίας έντονης αύξησης του δείκτη NAO και της αντίστοιχης μεταβολής των θερινών θερμοκρασιών, που πιθανώς συσχετίζεται με τον χρόνο μεταφοράς του νερού του Βόρειου Ατλαντικού στην θάλασσα Barents. Κατά τον εικοστό αιώνα, ένα θετικό ισοζύγιο μάζας πάγων στην Novaya Zemlya σχετίζεται με την θετική φάση της NAO, τις αυξημένες θερμοκρασίες της επιφάνειας στα νότια της θάλασσας Barents και την ακόλουθη αύξηση του χειμερινού υετού. Ωστόσο, όταν αυξάνονται οι θερινές θερμοκρασίες κατά 1°C πάνω από τον μέσο όρο, το λιώσιμο των πάγων αντισταθμίζει τον πρόσθετο υετό, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα αρνητικό ισοζύγιο μάζας πάγων (Zeeberg and Forman, 2001).

Βιβλιογραφία- Πηγές

Cherry J., Cullen H., Visbeck M., Small A., Uvo C., Impacts of the North Atlantic Oscillation on Scandinavian Hydropower Production and Energy Markets, *Water Resources Management* 19, Issue: 6, Pages: 673-691, 2005

Cullen H., and P. B. deMenocal, North Atlantic influence on Tigris-Euphrates streamflow, *Int. J. Climatol.*, 20, 853–863, 2000.

Eckhardt S., Stohl A., Beirle S., Spichtinger N., James P., Forster C., Junker C., Wagner T., Platt U., and Jennings S., The North Atlantic Oscillation controls air pollution transport to the Arctic, *Atmos. Chem. Phys.*, 3, 1769–1778, 2003.

Elsner, B., Kocher B., Global tropical cyclone activity: A link to the North Atlantic Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 129–132, 2000.

Elsner, B., Jagger T., and X.-F. Niu, Changes in the rates of North Atlantic major hurricane activity during the 20th century, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1743–1746, 2000

Gillet P., Graf H., Osborn T., Climate change and the North Atlantic Oscillation, American Geophysical Union ,*Geophysical monograph*,134 , 2003

Hurrell, W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, 676–679,1995.

Hurrell W., Yochanan Kushnir, Geir Ottersen and Martin Visbeck, An Overview of the North Atlantic Oscillation, 2003

Hurrell W., Clara Deser, North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation", *Journal of Marine Systems*, 79 231–244, 2010.

JaapJan Zeeberg and Steven L. Forman, Changes in glacier extent on north Novaya Zemlya in the twentieth century, *The Holocene* 11, 161–175, 2001

Μακρογιάννης Τ. Ι, Σαχσαμάνογλου Χ.Σ.: Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Χάρης, 3^η έκδοση, 2004

Mächel H., A. Kapala and H. Flohn, Behavior of the centers of action above the Atlantic since 1881. I. Characteristics of seasonal and interannual variability. *International Journal of Climatology*, 18 (1), 1-22, 1998.

Parkinson C. , Recent trend reversals in arctic sea ice extents: possible connections to the north Atlantic oscillation, *Polar Geography*, 31, 3-14, 2008

Ulbrich U. , Christoph, M. A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcin, *Climate Dynamics*, 15 , 551–559, 1999

Wallace, J. M., Y. Zhang, and J. A. Renwick , Dynamic contribution to hemispheric mean temperature trends, *Science*, 270, 780–783, 1995.

Πηγές απο το διαδίκτυο

<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>

http://en.wikipedia.org/wiki/North_Atlantic_Oscillation

<http://commons.wikimedia.org/wiki/Commons>

<http://earthobservatory.nasa.gov>

<http://www.rodiki.net/article.php?id=48719&catid=1&subcatid=37>
(Άρθρο του βιολόγου-Ωκεανογράφου Ιωσήφ Μακρή – 19/07/2010)