

Η σχεδόν διετής κύμανση (Quasi-biennial Oscillation, QBO)

Κομνηνός Δημήτριος, Κωστάκης Χριστόδουλος

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγικά στοιχεία για το QBO

1.1 Περιγραφή φαινομένου Σχεδόν διετούς διακύμανσης – Quasi Biennial Oscillation	2
1.2 Ιστορικό φαινομένου QBO	2
1.3 Δημιουργία του φαινομένου QBO	3
1.4 Χαρακτηριστικά φαινομένου QBO	4
1.5 Χρησιμότητα και Σημαντικότητα φαινομένου	8

Κεφάλαιο 2 : Επίδραση της Σχεδόν Διετούς κύμανσης στην θερμοκρασία

2.1 Επίδραση της Σχεδόν Διετούς κύμανσης στην θερμοκρασία της Ευρώπης	10
---	----

Βιβλιογραφία	12
---------------------	----

1. Εισαγωγικά στοιχεία για το QBO

1.1 Περιγραφή της Σχεδόν Διετούς Κύμανσης - Quasi Biennial Oscillation, QBO

Η σχεδόν διετής κύμανση, QBO, είναι μια σχεδόν περιοδική, σχεδόν διετής κύμανση των ισημερινών ζωνικών ανέμων. Συγκεκριμένα πρόκειται για ημιπεριοδική εναλλαγή ισημερινών ανατολικών & δυτικών ζωνικών ανέμων στην τροπική στρατόσφαιρα με μια μέση περίοδο 28 έως 29 μήνες. Στην περίπτωση που οι ισχυρότεροι άνεμοι πνέουν από ανατολικά μιλάμε για την ανατολική φάση, ενώ όταν πνέουν αντίθετα αναφερόμαστε στην δυτική φάση του φαινομένου. Η εναλλασσόμενη ατμοσφαιρική κυκλοφορία αναπτύσσεται στην κορυφή της χαμηλότερης στρατόσφαιρας και διαδίδεται προς τα κάτω με ταχύτητα περίπου 1km το μήνα έως ότου διαλυθεί στην τροπική τροπόπαυση.

Η καθοδική κίνηση των ανατολικών ανέμων είναι συνήθως πιο ανώμαλη από αυτή των δυτικών. Το εύρος της ανατολικής φάσης είναι περίπου δύο φορές ισχυρότερο από αυτή της δυτικής φάσης.

Το μέγιστο εύρος ταλάντωσης παρατηρείται πάνω από τον Ισημερινό σε ύψος 25km από την επιφάνεια της γη, ενώ παρατηρείται μείωση του πλάτους με την απόσταση από τον ισημερινό.

http://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-biennial_oscillation

(Baldwin et al.)

1.2 Ιστορικό Φαινομένου QBO

Η σχεδόν διετής κύμανση (Quasi Biennial Oscillation), ορίστηκε από τους Angel and Korshover (1964) όπως περιγράφεται σήμερα. Πριν από αυτό όμως υπήρξαν αρκετές ενδείξεις και παρατηρήσεις για την κυκλοφορία ρευμάτων αέρα στην στρατόσφαιρα, που οδήγησαν στην τελική διατύπωση του φαινομένου.

Το 1883 οι κάτοικοι της Ινδονησίας παρατήρησαν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια που δημιουργήθηκαν από την έκρηξη του ηφαιστείου **Krakatau**, πραγματοποιήσαν τον κύκλο της γης από ανατολικά προς τα δυτικά μέσα σε δύο εβδομάδες, (**Krakatau**

Easterlies). Το 1908 ο Berson πραγματοποίησε μετρήσεις με μετεωρολογικά μπαλόνια πάνω από την λίμνη Βικτώρια στην Αφρική , όπου παρατήρησε ρεύματα αέρα να πνέουν στα χαμηλά στρώματα της στρατόσφαιρας από τα δυτικά προς τα ανατολικά,(**Berson's Westerlies**) Τέλος, το 1960, οι Reed & Elbon , κάνοντας μετρήσεις με μετεωρολογικά μπαλόνια εντόπισαν εναλλαγή ανατολικών και δυτικών ανέμων που δημιουργούνται πάνω από τα 30km με καθοδική κατεύθυνση μέσω της στρατόσφαιρας καλύπτοντας 1km το μήνα. Παρατηρήθηκε επίσης πως οι ζώνες εμφανίζονται σε διαστήματα 13 μηνών ενώ απαιτούνται 26 μήνες για έναν πλήρη κύκλο.

(**Baldwin et al.**)

1.3 Δημιουργία Φαινομένου QBO

Η επικρατέστερη θεωρία για την ερμηνεία της κύμανσης που κατάφερε να ερμηνεύσει καλύτερα τα παραπάνω χαρακτηριστικά δόθηκε από τους Holton και Lindzen το 1972. Μια επίσης ενδιαφέρουσα ερμηνεία της εμφάνισης του QBO στη στρατοσφαιρική θερμοκρασία, στην οποία λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση αέρα-θάλασσας έχει δοθεί από τους Rogers και Van Loon το 1982. Στα επόμενα περιγράφονται σύντομα οι δύο αυτές επικρατέστερες θεωρίες.

- Κατά τους Holton και Lindzen

Σύμφωνα με τους Holton και Lindzen [Holton και Lindzen (1972), Ζερεφός (1984), Andrews, Holton και Leovy (1987)], τα κύρια χαρακτηριστικά της QBO μπορούν να ερμηνευτούν θεωρώντας κατακόρυφη μεταφορά ορμής από τα ατμοσφαιρικά κύματα της στρατόσφαιρας της περιοχής τους ισημερινού. Τα κύματα αυτά του ισημερινού ονομάζονται κύματα Kelvin ή κύματα Yanai ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν.

Τα κύματα Kelvin έχουν περίοδο μεταξύ 10-20 ημερών, ζωνικά μήκη κύματος 20.000 – 40.000 km και η φάση τους διαδίδεται ανατολικά. Διαδίδονται κατακόρυφα στην κατώτερη στρατόσφαιρα και έχουν μέγιστο πλάτος κατά τη διάρκεια της ανατολικής φάσης της QBO.

Τα κύματα Yanai έχουν περίοδο 4-5 ημερών, μήκος κύματος περίπου 10.000km και η φάση τους διαδίδεται προς τη δύση. Διαδίδονται κατακόρυφα στην κατώτερη στρατόσφαιρα και εμφανίζουν μέγιστο πλάτος κατά τη δυτική φάση της QBO. Τα κύματα αυτά είναι γνωστά επίσης και σαν ανάμικτα κύματα Rossby και βαρύτητας.

Κατά τους Holton – Lindzen, η QBO είναι μια εσωτερική ταλάντωση που προέρχεται από αλληλεπιδράσεις της κυματικής μέσης ροής, όταν τα κύματα Kelvin και Yanai κατά την κατακόρυφη διάδοση τους αποσβέννυνται είτε ακτινοβολώντας είτε με καθαρά μηχανικό τρόπο στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Κατά τη δυτική φάση της QBO η συχνότητα του κύματος Kelvin, το οποίο διαδίδεται προς την Ανατολή, ελαττώνεται σε σχέση με τη ζωνική ροή καθώς το κύμα διεισδύει στη ζώνη των δυτικών ανέμων. Με την ελάττωση της συχνότητας το κύμα αποσβέννυται και ψύχεται ακτινοβολώντας. Με αυτή τη διαδικασία το κύμα Kelvin μεταφέρει ορμή στη περιοχή των δυτικών ανέμων, με αποτέλεσμα την ενίσχυση και μεταφορά προς χαμηλότερα ύψη του αεροχείμαρρου ο οποίος την απορρόφησε. Με όμοιο τρόπο το κύμα Yanai, διεισδύει στη περιοχή των ανατολικών ανέμων, η οποία βρίσκεται πάνω από το δυτικό αεροχείμαρρο. Οδεύοντας προς τη περιοχή των ανατολικών ανέμων το κύμα Yanai αποσβέννυται μεταφέροντας ορμή, με αποτέλεσμα την ενίσχυση και της προς τα κάτω επέκτασή τους και τελικά την εμφάνιση της ανατολικής φάσης του QBO. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι πάνω από τα 30km φαίνεται να κυριαρχεί η ημιετήσια κύμανση.

(Τουρπάλη, 1994)

1.4 Χαρακτηριστικά Φαινομένου QBO

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της, όπως έχουν παρατηρηθεί στο ζωνικό άνεμο στην περιοχή των τροπικών είναι τα εξής:

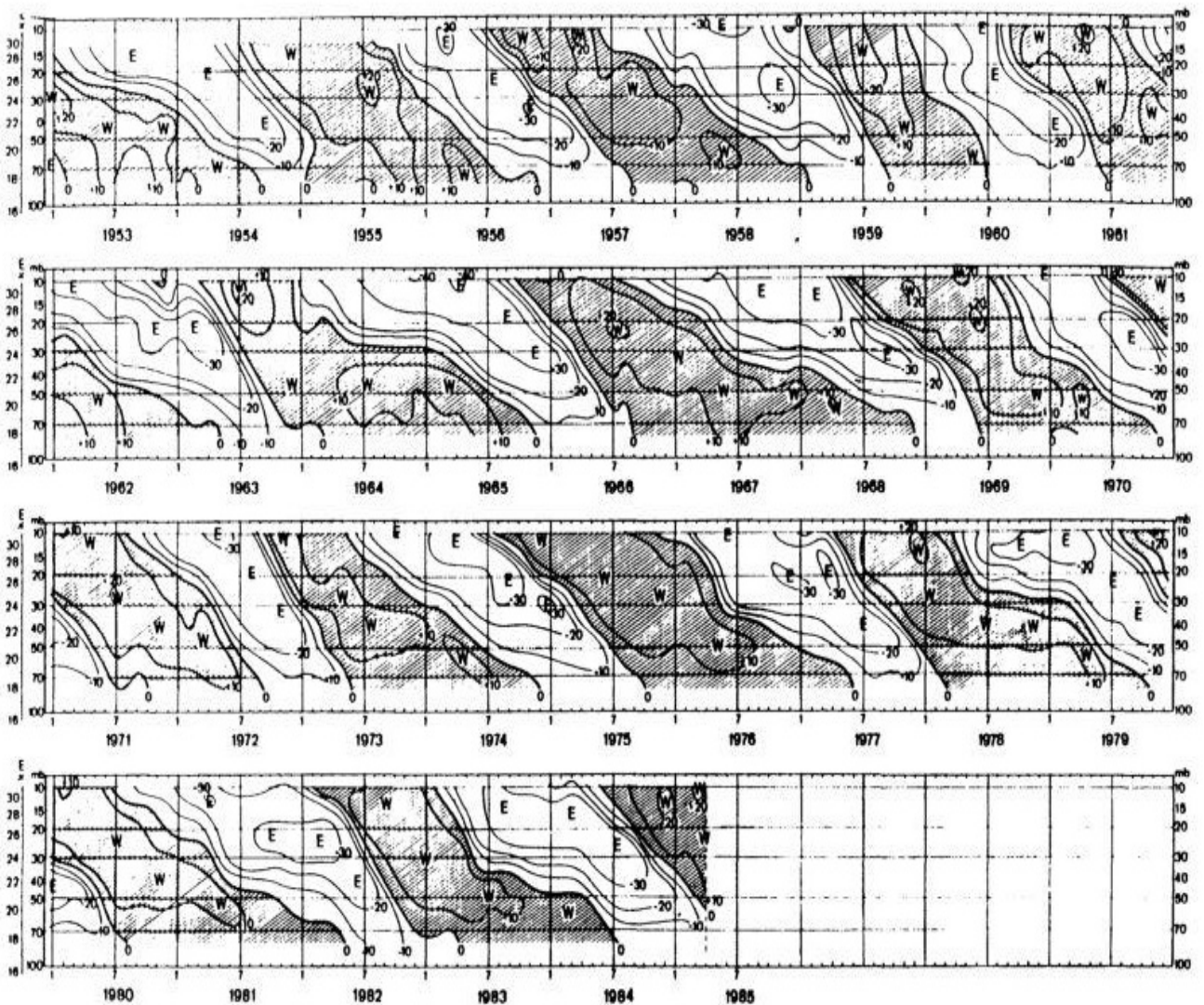
- Η Σχεδόν Διετής Κύμανση αποτελείται από δύο φάσεις: την ανατολική φάση, όπου ο ζωνικός άνεμος πνέει από τα ανατολικά, και τη δυτική, όπου ο ζωνικός άνεμος πνέει από τα δυτικά. Η εναλλαγή των ανέμων από ανατολικούς σε δυτικούς δεν έχει σταθερή περίοδο. Η παρατηρούμενη περίοδος κυμαίνεται μεταξύ 22 και 24 μηνών, με μέση περίοδο περίπου 23 μήνες.
- Παρατηρείται κατακόρυφη διάδοση της φάσης προς τα χαμηλότερα ύψη, με ρυθμό περίπου 1km/μήνα, όπου όμως η δυτική φάση εξελίσσεται μάλλον ταχύτερα. Καθώς

το μέγιστο της δυτικής φάσης ολισθαίνει σε μικρότερα ύψη, κάνει την εμφάνιση της στα μεγαλύτερα ύψη η ανατολική φάση (βλ. σχήμα 1.1).

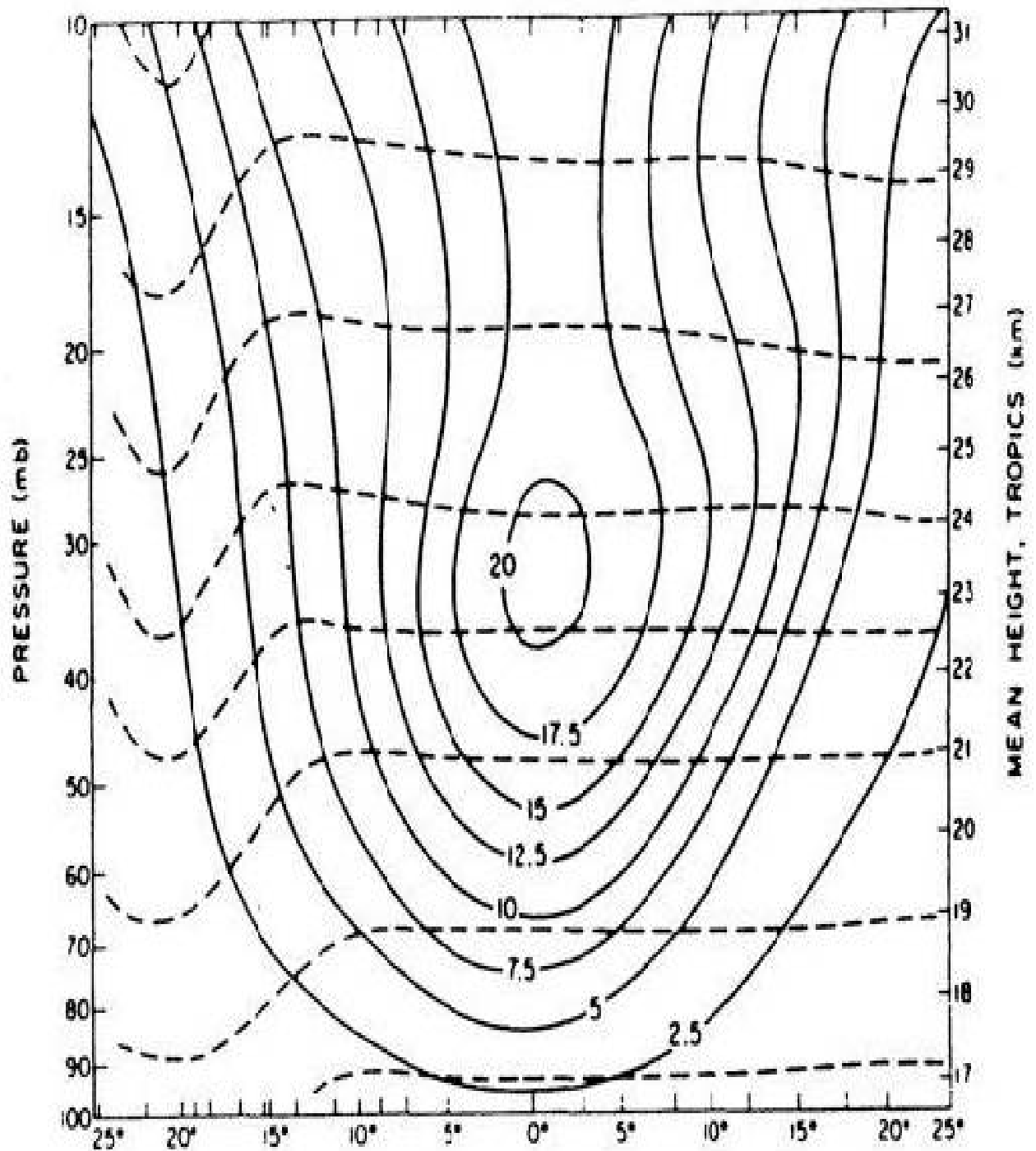
- Το πλάτος της Σχεδόν Διετούς Κύμανσης είναι περίπου σταθερό μεταξύ των υψών που αντιστοιχούν στα 10mb και στα 40mb, και ελαττώνεται γρήγορα κάτω από τα 50mb, με τη δυτική φάση να εξασθενεί ταχύτερα στα χαμηλότερα ύψη.

Η εναλλαγή και η διαδοχή της φάσης οι οποίες χαρακτηρίζουν την Σχεδόν Διετή Κύμανση εμφανίζονται και στη στρατοσφαιρική θερμοκρασία. Η Σχεδόν Διετής Κύμανση, την οποία από εδώ και στο εξής θα αποκαλούμε QBO (Quasi Biennial Oscillation), μεταβάλλεται από κύκλο σε κύκλο. Παρόλο που η περιοδικότητα της δεν είναι ακριβώς δύο έτη, εμφανίζεται μια προτίμηση στην εποχή αλλαγής της φάσης. Η έναρξη είτε της ανατολικής είτε της δυτικής φάσης στα 50mb, συμβαίνει συνήθως κατά το καλοκαίρι του Βόρειου ημισφαιρίου. Στην εικόνα 1.1 φαίνεται καθαρά η εναλλαγή και η διάδοση της φάσης καθ' ύψος, ενώ στην εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η κατανομή καθ' ύψος και γεωγραφικό πλάτος της κύμανσης στη περιοχή των τροπικών.

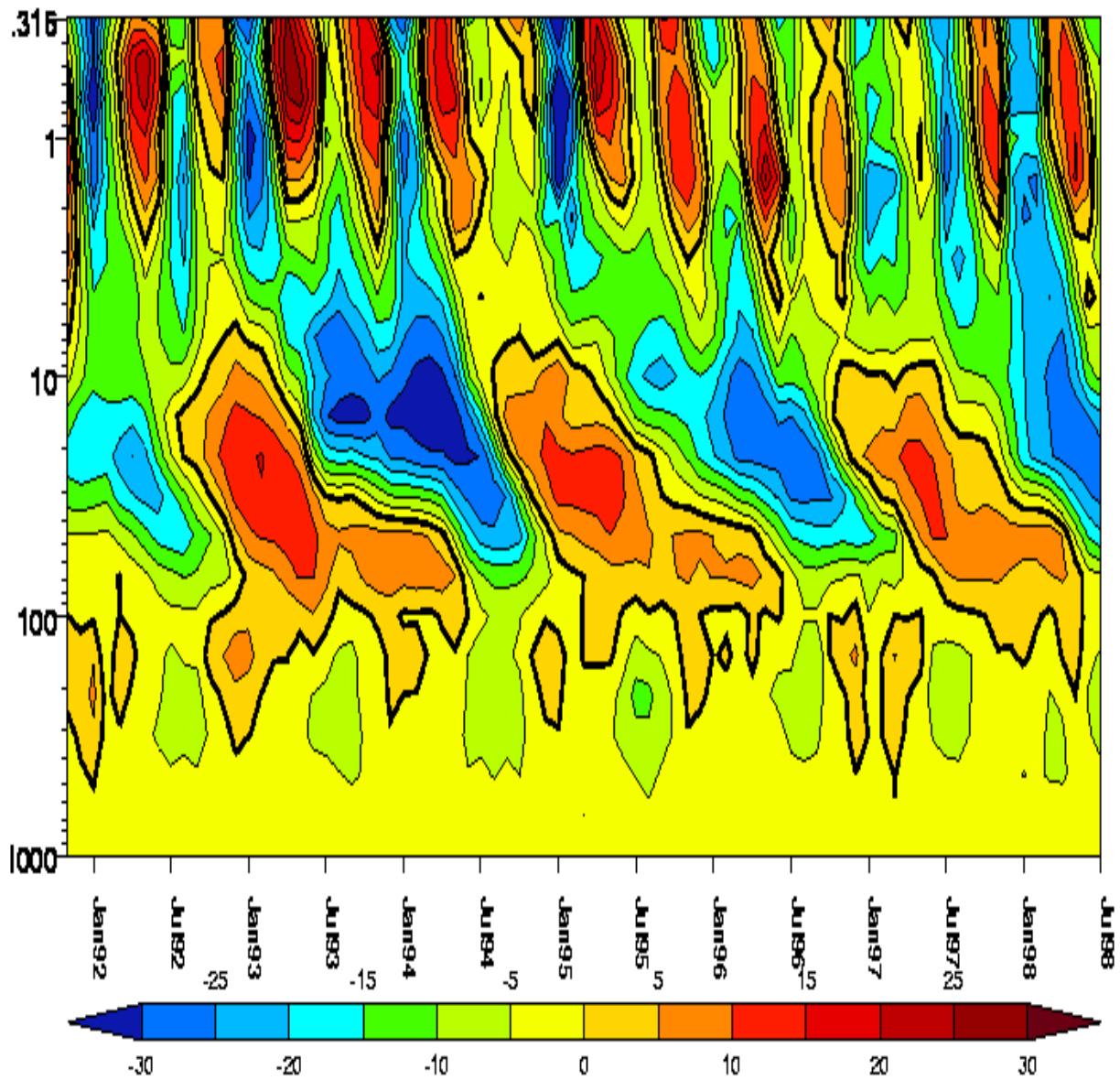
Για την ερμηνεία της QBO προτάθηκαν πολλές θεωρίες, οι οποίες όμως δεν κατάφεραν να εξηγήσουν πλήρως τα τρία κυριότερα χαρακτηριστικά της κύμανσης, δηλαδή την σχεδόν διετή περιοδικότητα, τους ζωνικά συμμετρικούς δυτικούς ανέμους στον Ισημερινό, και την κατακόρυφη με φορά προς τα κάτω διάδοση της φάσης χωρίς μείωση του πλάτους.



Εικόνα 1.1: Χρονική μεταβολή του ζωνικού ανέμου (m/sec) καθ' ύψος όπως παρατηρείται σε σταθμούς του Ισημερινού. (Ιαν./1953-Αυγ./1967: Canton Island, 3°S/172°W, Σεπτ./1967-Δεκ./1975: Gan, 1°S/73°E, Ιαν./1976-Απρ./1985, Singapore 1°N/104°E). Οι ισοταχείς έχουν χαραχθεί ανά 10m/sec. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές δείχνουν τους δυτικούς ανέμους, που συμβολίζονται με W, ενώ οι ανατολικοί άνεμοι συμβολίζονται με E (Τουρπάλη, 1994).



Εικόνα 1.2: Κατανομή καθ' ύψος και γεωγραφικό πλάτος του πλάτους (συνεχής γραμμή, σε m/sec) και της φάσης (διακεκομμένη γραμμή) της Σχεδόν Διευτούς Κύμανσης (QBO) του ζωνικού ανέμου. Οι ισοφασικές έχουν χαραχθεί ανά μήνα με το χρόνο να αυξάνεται προς τα κάτω (Τουρπάλη, 1994).



Εικόνα 1.3: Απεικονίζεται η μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου (m/s), σε σχέση με την πίεση της ατμόσφαιρας (mb) (σε 1.25° βόρεια του ισημερινού). Οι ανατολικοί άνεμοι απεικονίζονται από το μπλε ως το κίτρινο ενώ οι δυτικοί από το πορτοκαλί ως το κόκκινο. Το σημείο εμφάνισης του φαινομένου απεικονίζεται με την σκούρα μαύρη γραμμή στο σημείο εναλλαγής των ανέμων. (Swinbank, and O'Neill, 1994)

Επιπρόσθετα , κάποια σημαντικά στοιχεία που μπορούμε να εξάγουμε από παρατηρήσεις της σχεδόν διετούς κύμανσης , όπως φαίνεται και στην εικόνα 1 , περιγράφονται παρακάτω :

- 1) Εμφάνιση ανατολικών & δυτικών ανέμων από 10mb έως 100mb.
- 2) Σταθερή ένταση ανατολικών & δυτικών ανέμων καθ' ύψος στο επίπεδο πίεσης 10-40 mb .
- 3) Γρήγορη ελάττωση έντασης ανατολικών & δυτικών ανέμων κάτω από τα 50 mb.
- 4) Το μέγιστο εύρος παρατηρείται από 40 ως 50m/s στα 20mb.
- 5) Η μετάβαση από τους δυτικούς σε ανατολικούς ανέμους καθυστερεί συχνά στα 30 και 50mb.

Υπάρχει ιδιαίτερη μεταβλητότητα του QBO στην περίοδο και το εύρος.

(Τουρπάλη, 1994)

(Naujokat, B. 1986)

1.5 Σημαντικότητα του Φαινομένου

Από την στιγμή που διατυπώθηκε η θεωρία της σχεδόν διετούς κύμανσης (QBO) κατέστη δυνατό να εξηγηθούν και να προβλεφθούν πολλά φυσικά φαινόμενα και διαδικασίες που συντελούνται στην στρατόσφαιρα και κατ' επέκταση επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή.

□ Αιωρούμενα σωματίδια

Η διασπορά αιωρούμενων σωματιδίων από ηφαιστειακές εκρήξεις σε γεωγραφικά μήκη της τροπικής ζώνης εξαρτάται από τη φάση (ανατολική ή δυτική) του QBO .

□ Διακύμανση Συγκεντρώσεων Αερίων της Ατμόσφαιρας

Τόσο οι διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις όσο και η διασπορά αερίων όπως CH_4 , H_2O (g), NO_2 και N_2O εξαρτώνται από την φάση της QBO.

□ Αύξηση θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας

Τα Rossby- πλανητικά κύματα σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη προκαλούν την αναστροφή από την δυτική στην ανατολική θερμότερη φάση της QBO με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας. Η εναλλαγή αυτή (τελικά θέρμανση) συντελείται τον Μάρτιο ή τον Απρίλιο για το Βόρειο ημισφαίριο και τον Νοέμβριο ή Δεκέμβριο για το Νότιο ημισφαίριο.

□ **Διακύμανση O₃**

Στα γεωγραφικά πλάτη του ισημερινού παρατηρείται μέγιστο ολικό όζον κατά την δυτική φάση της QBO, ενώ στα γεωγραφικά πλάτη των πόλων παρατηρούνται υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος κατά την ανατολική φάση του φαινομένου.

□ **Πρόβλεψη ENSO**

Βάσει των αναμενόμενων εναλλαγών του ανέμου στα 30 & 50 mb κατά την διάρκεια της QBO μπορεί να προβλεφτεί η ένταση και η χρονική εμφάνιση του φαινομένου.

□ **Πρόβλεψη βροχόπτωσης**

Το φαινόμενο QBO επηρεάζει τα ποσοστά βροχόπτωσης στη ζώνη Sahel στην Αφρική, ενώ παράλληλα δίνεται και η δυνατότητα πρόβλεψής της .

□ **Πρόβλεψη μουσώνων**

Η σχεδόν διετής κύμανση σε συνδυασμό με την επιφανειακή θαλάσσια θερμοκρασία & το φαινόμενο ENSO μας δίνει την δυνατότητα πρόβλεψης των μουσώνων.

□ **Πρόβλεψη κεραυνών**

Η δυτική φάση του QBO προκαλεί αυξημένη δραστηριότητα κεραυνών στον Ατλαντικό & ΒΔ Ειρηνικό ωκεανό ενώ η ανατολική φάση στον ΝΔ Ινδικό κόλπο.

□ **Πρόβλεψη τροπικών κυκλώνων**

Η δυτική φάση του QBO προκαλεί αυξημένη συχνότητα τροπικών κυκλώνων στον ΒΔ Ειρηνικό ωκεανό, ενώ η ανατολική φάση στον ΝΔ Ινδικό κόλπο.

(<http://ugamp.nerc.ac.uk/hot/ajh/qbo.htm>)

(Baldwin, et al.)

2. Επίδραση της Σχεδόν Διαιτούς κύμανσης στην θερμοκρασία

2.1 Επίδραση της Σχεδόν Διαιτούς Διακύμανσης στην θερμοκρασία της Ευρώπης, όπως αναφέρει η κ.Τουρπάλη,1994.

<< Εξετάζοντας τις ατμοσφαιρικές κυμάνσεις με περίοδο μεγαλύτερη του ενός έτους, πολλοί ερευνητές έχουν κατά καιρούς αναφέρει την ύπαρξη κυμάνσεων με περίοδο περίπου 2 έτη σε τροποσφαιρικές μετεωρολογικές παραμέτρους. Από τις μελέτες αυτές συμπεραίνεται ότι οι θερμοκρασίες επιφάνειας και κατώτερης τροπόσφαιρας παρουσιάζουν σχεδόν διαιτή κύμανση. Ο Schonwiese (1980, 1983, 1987), εξετάζοντας χρονοσειρές θερμοκρασίας επιφάνειας σε περιοχές της Β. Αμερικής και της Ευρώπης, έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές κυμάνσεις περιόδου μεταξύ 2,3 – 2,7 ετών, οι οποίες συμπίπτουν με την περίοδο της στρατοσφαιρικής QBO των τροπικών. Η ανάλυση του αυτή συμφωνεί με την μελέτη των Zerefos et al (1977), στην οποία έδειξαν ότι στο Β. Ημισφαίριο επικρατεί διαιτής κύμανση. Ο Ρεπαπής (1984), εξετάζοντας την χρονοσειρά της θερμοκρασίας των Αθηνών, βρήκε σημαντικές κυμάνσεις με περιόδους 2 – 4 ετών, οι οποίες παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική σχέση με τις αντίστοιχες τις Κεντρικής Αγγλίας και γενικά του Β. Ημισφαιρίου.

Διάφοροι ερευνητές μελέτησαν επίσης την συσχέτιση της τροποσφαιρικής με την στρατοσφαιρική QBO των τροπικών. Τα αποτελέσματα όμως εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικά μόνο όταν μελετήθηκαν οι διαφορές οι οποίες προκύπτουν στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία ή θερμοκρασία μεταξύ της Ανατολικής και Δυτικής φάσης της QBO. Οι Van Loon και Labitzke, έδειξαν ότι με τον χωρισμό των στοιχείων παρουσιάζεται καλύτερη απόκριση της ατμόσφαιρας στον ηλιακό κύκλο. Στις περισσότερες όμως εργασίες, η επίδραση της QBO εξετάστηκε με μη συνεχή τρόπο, εκτός από τις εργασίες του Trenberth για το νότιο Ημισφαίριο, ο οποίος διαπιστώνει ότι η στρατοσφαιρική QBO, εμφανίζεται

ασύνδετη με την αντίστοιχη η οποία παρατηρείται στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Αυτό συμβαίνει παρόλο που υπάρχουν ενδείξεις ότι η μέση ζωνική ροή στα 500 mb εμφανίζει συσχέτιση με τον ζωνικό άνεμο στον ισημερινό και παρά το γεγονός ότι η QBO θα έπρεπε να εμφανίζεται ισχυρότερη στο Νότιο από ότι στο Βόρειο Ημισφαίριο, όπου λόγω κατανομής ξηράς – θάλασσας εμφανίζεται πολύ ισχυρή η ετήσια πορεία και οι εποχικές μετακινήσεις των κέντρων δράσης.

Για να διαπιστώσουμε αν η QBO της επιφανειακής θερμοκρασίας στην Ευρώπη συνδέεται με γραμμικό τρόπο με την στρατοσφαιρική QBO του ισημερινού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της διασταρούμενης φασματικής ανάλυσης (cross spectral analysis) και υπολογίστηκε η τετραγωνική συνάφεια (squared coherence) μεταξύ των χρονοσειρών της θερμοκρασίας επιφάνειας της Ευρώπης και Ανατολικής Μεσογείου και ζωνικού ανέμου της Σιγκαπούρης στα 50 mb, ο οποίος χρησιμοποιείται σαν δείκτης της στρατοσφαιρικής QBO. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τη χρονική περίοδο 1963 – 1989, η οποία είναι κοινή για τα δεδομένα ραδιοβολίσεων για το σταθμό της Σιγκαπούρης και για όλους τους σταθμούς επιφάνειας χωρίς ελλείψεις στα στοιχεία. Για κυμάνσεις περιόδου μεταξύ 27 – 30 μηνών, οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές για τη στρατοσφαιρική QBO του ισημερινού, δεν πρόκυψε σημαντικό αποτέλεσμα.

Διαπιστώνεται ότι η στρατοσφαιρική QBO είναι ασύνδετη τουλάχιστον με γραμμικό συνεχή τρόπο, με την τροποσφαιρική διετή κύμανση στην Ευρώπη εκτός από μια σχετικά μικρή περιοχή σταθμών, χωρίς όμως το επίπεδο σημαντικότητας να είναι πολύ υψηλό. >>

(Τουρνάλη, 1994)

Βιβλιογραφία

Holton, J.R. and R.S.Lindzen, 1972: An updated theory for the Quasi-Biennial cycle of the tropical stratosphere.
Journal of the Atmospheric Sciences Vol. 29, pp. 1076-1080.

Naujokat, B. 1986: An update of the observed Quasi-Biennial Oscillation of stratospheric winds over the tropics.
Journal of the Atmospheric Sciences Vol. 43, pp.1873-1877.

M.P. Baldwin, L. J. Gray, T. J. Dunkerton, K. Hamilton, P. H. Haynes, W. J. Randel, J. R. Holton, M. J. Alexander, I. Hirota, T. Horinouchi, D. B. A. Jones, TM J. S. Kinnnersley, TM C. Marquardt, K. Sato, and M. Takahashi TM, 1998, The Quasi -Biennial Oscillation

Swinbank, R., and A.O'Neill, 1994: A stratosphere-troposphere data assimilation System.

Monthly Weather Review Vol. 120, pp. 686-702

http://en.wikipedia.org/wiki/Quasi-biennial_oscillation

<http://ugamp.nerc.ac.uk/hot/ajh/qbo.htm>

Τουρπάλη, 1994, Η Σχεδόν Διετής Κύμανση και η Νότια Κύμανση στην ατμόσφαιρα