

ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΡΟΒΛΕΨΙΣ ΤΟΥ ΥΕΤΟΥ

Υ Π Ο

ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΕΜΜ. ΜΠΑΡΜΠΟΥΝΑΚΗ *

«Ποσοτική πρόβλεψις τοῦ ὑετοῦ» εἶναι ἡ πρόγνωσις ὄλων τῶν μετεωρολογικῶν παραμέτρων, αἱ ὅποια ἔχουν σχέσιν μὲ τὸν ὑετὸν καὶ ὁ, ἐν συνεχείᾳ, ὑπολογισμὸς ἐξ αὐτῶν τοῦ ὑετοῦ.

Ἡ σημασία μιᾶς τοιαύτης προγνώσεως εἶναι περιττόν νά τονισθῇ ἰδιαίτε-
ρως, δεδομένου ὅτι ἡ πρόγνωσις 12, 24, 36, 48, 72 ὥρων ἢ ἐβδομάδος, μηνός, ἐπο-
χῆς οἰουδήποτε μετεωρολογικοῦ στοιχείου παίζει πρωταρχικὸν ρόλον εἰς πλει-
στούς, ἂν ὄχι εἰς ὄλους τοὺς τομεῖς τῆς ἀνθρωπίνης δραστηριότητος.

Τὸ πρόβλημα δὲν εἶναι ἀπλό, ὥς καὶ κάθε μετεωρολογικὸν πρόβλημα,
ἀλλὰ στηριζόμενοι εἰς παραδοχὰς θά προσπαθήσωμεν νά δώσωμεν, ἔστω καὶ
προσεγγιστικῶς, λύσιν μέσα εἰς τὰ πλαίσια τῶν σημερινῶν μας δυνατοτήτων,
ὥς αὐταὶ ὑφίστανται εἰς τὴν Ἑθνικὴν Μετεωρολογικὴν Ὑπηρεσίαν.

Πρὶν προβῶμεν εἰς τὴν ἀνάπτυξιν τῶν μεθόδων θεωροῦμεν σκόπιμον μίαν
σύντομον ἱστορικὴν ἀναδρομὴν, ἵνα ἀντιληφθῶμεν τὴν ἱστορικὴν ἐξέλιξιν ἀφ'
ἐνὸς καὶ τὰς δυσκολίας ἀφ' ἑτέρου, αἵτινες ἐμπεριέχονται εἰς τὸ πρόβλημα.

Ἡ ποσοτικὴ πρόβλεψις τοῦ ὑετοῦ ἤρχισεν σχεδὸν συγχρόνως εἰς τὰς Ἑνω-
μένας Πολιτείας καὶ τὴν Ἰαπωνίαν.

Τὸ 1935 ἐδημοσιεύθη εἰς τὸ Monthly Weather Review ἡ ἐργασία τοῦ
J. R. FULKS ὑπὸ τὸν τίτλον «Rate of precipitation from adiabatically ascending
air» καὶ τὸ ἴδιο ἔτος εἰς τὸ J. Meteor. Society Japan ἡ ἐργασία τοῦ Y. TANAHASI
ὑπὸ τὸν τίτλον «Instantaneous rate of condensation in adiabatically ascending air».

Ἀμφότεραι ἐχρησιμοποίησαν διαφόρους μορφὰς τῆς ἐξισώσεως συνε-
χειᾶς.

Ἐν συνεχείᾳ καὶ κυρίως κατὰ τὴν χρονικὴν περίοδον 1950 - 1970 πολλοὶ
ἐρευνηταὶ εἰς Ἑνωμένας Πολιτείας, Ρωσίαν, Ἀγγλίαν, Γερμανίαν, Καναδὰ καὶ
ἀλλαγῶν ἠσχολήθησαν μὲ ἀνάλογα προβλήματα καὶ ἐδημοσίευσαν ἐργασίας
τῶν εἰς περιοδικά.

Ἐκ τῆς βιβλιογραφίας δύναται τις νά ταξινομήσῃ τὰς ἐργασίας τῶν ἐρευ-
νητῶν τούτων ἀναλόγως τῶν χρησιμοποιουμένων μεθόδων εἰς τρεῖς κατηγο-
ρίας, ἦτοι:

1. Τὰς ἐμπειρικός. 2. Τὰς στατιστικός. 3. Τὰς φυσικός.

Θά ἀναπτύξωμεν συντόμως τὰς δύο πρώτας κατηγορίας καὶ θά ἐπεκταθῶ-
μεν, ὅσο τὰ χρονικὰ ὄρια τῆς διαλέξεως μᾶς τὸ ἐπιτρέπουν, εἰς τὴν τρίτην.

* ΓΕΩΡΓ. ΕΜΜ. ΜΠΑΡΜΠΟΥΝΑΚΗΣ, Μετεωρολόγος τῆς Ἑθν. Μετεωρ. Ὑπηρεσίας.

1. Αί εμπειρικοί μέθοδοι βασίζονται κυρίως επί της προεκτάσεως μίας περιοχής ύετοϋ, ή όποία ύποτίθεται ότι κινείται με μίαν μέσην ταχύτητα ύπολογισμένην στατιστικώς. Τά μειονεκτήματα τών μεθόδων τούτων διά προγνώσεις πέραν τών 12 ή 24 ώρων είναι φανερά διότι δέν λαμβάνονται ύπ' όσιν αί μεταβολαί τών μετεωρολογικών παραμέτρων και κυρίως τής ύγρασίας, τών κατακορύφων ταχυτήτων, τοϋ στροβιλισμού, τοϋ ύετισίμου ύδατος κλπ.

Παρά τά μειονεκτήματα όμως αί μέθοδοι είχαν μίαν κάποιαν άξιαν διά προγνώσεις χρονικών περιόδων μικροτέρων τών 12 ή 6 ώρων. Μεταξύ τών έρευνητών τής μεθόδου ταύτης άναφέρονται τούς SCHELL (1946), RIEHL (1946), GEORGE (1960), JENRETTE (1961) ΡΑΝΟFSKY (1962).

2. Αί στατιστικοί μέθοδοι στηρίζονται εις τάς εμπειρικές και χρησιμοποιούν τάς αυτάς περίπου μεταβλητάς συνδυασμένας με συντελεστάς άπλών ή πολλαπλών συσχετίσεων και εύθείας παλινδρομήσεως. Διά τών μεθόδων αυτών όμως παρείχεται ή εύχέρεια συσχετίσεως όλιγαρίθμων παραμέτρων και αί εύθείαι παλινδρομήσεως είχαν περιωρισμένην άξιαν και ίσχυον διά μικράς περιοχάς.

Ός έρευνηταί στηριζόμενοι εις στατιστικάς μεθόδους και με άξιολόγους εργασίας άναφέρονται οί RAPP (1949), TEWELES και FORST (1953), JORGENSEN (1953) κ.ά.

Τόσον αί εμπειρικοί όσον και αί στατιστικοί μέθοδοι άπετέλεσαν τήν άπαρχήν τής έξευρέσεως τής λύσεως τοϋ προβλήματος και τά άποτελέσματά των ήσαν ίκανοποιητικά διά τήν εποχήν των.

3. Αί φυσικοί μέθοδοι είναι τελείως άνεξάρτητοι τών δύο προηγούμενων και προσπαθοϋν νά δώσουν λύσιν τοϋ προβλήματος, λύουσαι τάς δυναμικές εξισώσεις κινήσεως και τάς θερμοδυναμικές τοιαύτας κατ' άρχάς, διά γραφικών μεθόδων, βραδύτερον δέ τή βοήθειά τών ηλεκτρονικών ύπολογιστών διά τής Άριθμητικής Πρόγνώσεως τοϋ Καιροϋ.

«Άριθμητική Πρόγνωση τοϋ Καιροϋ» είναι ή λύσις τών βασικών ύδροδυναμικών και θερμοδυναμικών εξισώσεων, αί όποιαί διέπουν τάς άτμοσφαιρικές κινήσεις δι' άριθμητικών μεθόδων. Αί εξισώσεις αυταί είναι:

- α. Ό δεύτερος νόμος τής κινήσεως τοϋ Νεύτωνος.
- β. Ό πρώτος νόμος τής θερμοδυναμικής.
- γ. Ό νόμος διατηρήσεως τής μάζης ή ώς συνηθίζεται νά λέγεται εξίσωσις συνεχείας.
- δ. Η καταστατική εξίσωσις τών αερίων.
- ε. Η εξίσωσις διατηρήσεως τής περιεκτικότητας τοϋ ύδατος.

Αί βάσεις τής «Άριθμητικής Πρόγνώσεως τοϋ Καιροϋ» έτέθησαν εις τήν άρχήν τοϋ 20οϋ αιώνοϋ, ότε ό V. BJERKNES πρώτος άνεγνώρισε ότι αί ώς άνω εξισώσεις, άπετέλουν σύστημα διαφορικών εξισώσεων, τό όποιον λυόμενον δύναται άπό μίαν δεδομένην κατάστασιν τής άτμοσφαιρας κατά τήν χρονικήν στιγμήν t_0 νά προγνώσῃ τήν άτμοσφαιρικήν κατάστασιν κατά τήν χρονικήν στιγμήν $t_0 + \Delta t$. Άνεγνώρισε επίσης ότι τό ώς άνω μη γραμμικόν σύστημα δέν έχει μίαν αναλυτικήν λύσιν και ότι τά δεδομένα ήσαν έξ ολοκλήρου άνεπαρκή

διά τόν καθορισμόν τών άρχικών συνθηκών. Τό 1921 ό L. F. RICHARDSON εις μίαν μονογραφίαν του περιέγραψε μέθοδον ολοκληρώσεως τών ώς άνω εξισώσεων, όμως τά άποτελέσματά του, καίτοι έχρειάσθησαν μερικούς μήνας ύπολογισμών έκ πινάκων, ήσαν έσφαλμένα διά τά ύπαισερχόμενα φυσικά μεγέθη, με συνέπειαν νά άγνοηθῇ ή μέθοδος επί μερικής δεκαετίας.

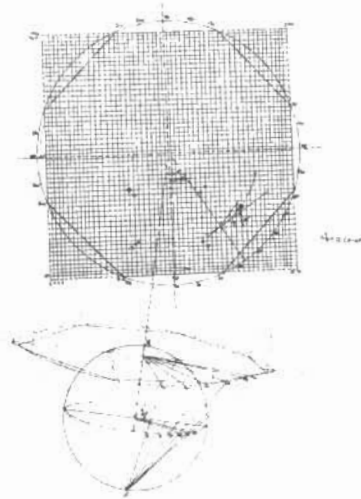
Τό 1950 οί J. CHARNEY, R. FJORTOFT και J. VON NEUMANN έδημοσίευσαν τάς πρώτας επιτυχείς άριθμητικές προγνώσεις διά τής χρήσεως ένός άπλού μοντέλου, βασιζόμενου εις μίαν προγενεστέραν έργασίαν τοϋ G. G. ROSSBY. Διά τούς ύπολογισμούς των έχρησιμοποίησαν ηλεκτρονικόν ύπολογιστήν.

Έκτοτε με τήν ραγδαίαν εξέλιξιν τών ηλεκτρονικών ύπολογιστών παρετηρήθη και ραγδαία εξέλιξις εις τήν Άριθμητικήν Πρόγνωσην τοϋ καιροϋ και έπενοούντο συνεχώς βελτιωμένα μοντέλα περιλαμβάνοντα όσον τό δυνατόν περισσοτέρας μετεωρολογικές παραμέτρους, μέχρις σημείου, ώστε σήμερον νά λαμβάνονται ύπ' όσιν και ή όρεογραφία, αί διαβατικοί θερμάνσεις έκ τής θαλάσσης, τό συνοριακόν στρώμα γής-άτμοσφαιρας, αί άκτινοβολαί κλπ.

Με τήν λέξιν «μοντέλο», έννοούμεν τό σύνολον τών ύδροδυναμικών και θερμοδυναμικών εξισώσεων, τών παραδοχών αί όποιαί έγέγοντο διά τήν άριθμητικήν λύσιν αυτών και τών άρχικών τιμών τών φυσικών μεγεθών. Διά νά καθορίσωμεν τάς άρχικάς συνθήκας τών μετεωρολογικών παραμέτρων, κατά τήν χρονικήν στιγμήν t_0 εις έν μοντέλον λαμβάνομεν ύπ' όσιν τάς παρατηρήσεις επιφανείας και άνωτέρας άτμοσφαιρας κατά τάς χρονικές στιγμάς 00 h GMT ή 12 h GMT, διότι μόνον κατ' αυτάς εκτελοϋνται ραδιοβολίσσεις ύπό τών Μετεωρολογικών Σταθμών.

Καίτοι αί άρχικαί συνθήκαι ύπάρχουν κατά τάς ώς άνω χρονικές στιγμάς, λόγω τής διανομής τών Μετ. Σταθμών επί τής επιφανείας τής γής, τό πεδιον τών άρχικών τιμών είναι άκατάλληλον διά τήν ολοκλήρωσιν τών εξισώσεων, δεδομένου ότι πλείστοι έξ αυτών είναι διαφορικοί εξισώσεις μετά μερικών παραγώγων και αί εξισώσεις διαφορών αυτών απαιτοϋν τιμάς εις πλέγμα σημείων.

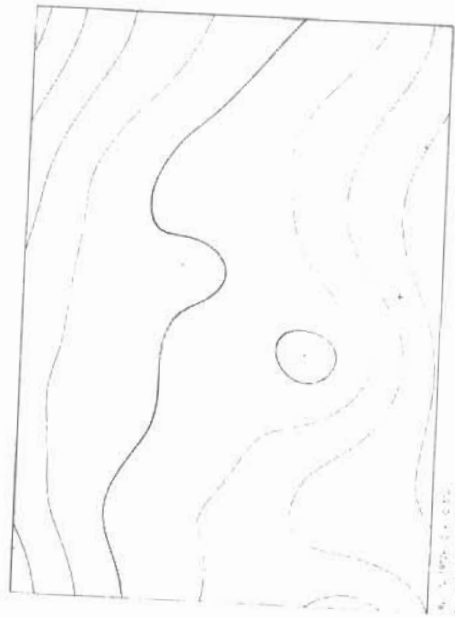
Διά τούς ώς άνω λόγους και διά λόγους ύπολογιστικής εύσταθείας τών λύσεων, χρησιμοποιείται συνήθως ή πολική στερεογραφική προβολή 60° Β, ήτις άποτελεί σύμμορφον άπεικόνισιν τοϋ Β. ήμισφαιρίου επί επιπέδου καθέτου προς τόν άξονα τής γής και περιέχοντος τόν κύκλον πλάτους 60 Β. Αυτή κατασκευάζεται διά προβολής έκ τοϋ Νοτίου Πόλου τής γής επί τοϋ ώς άνω επι-



Σχ. 1. Πολική στερεογραφική προβολή 60 Β και πλέγμα έκ 54 · 54 σημείων ύποστάσεως 381 km.



2



3α

Σχ. 2. Άκτογραφία της Ευρώπης. Ο άναγνώστης παρακαλείται να την εφορμήσει νοητά; επί εκάστου εξ όλων των έπομένων σχεδιαγραμμάτων (Σημ. συντάξεως).



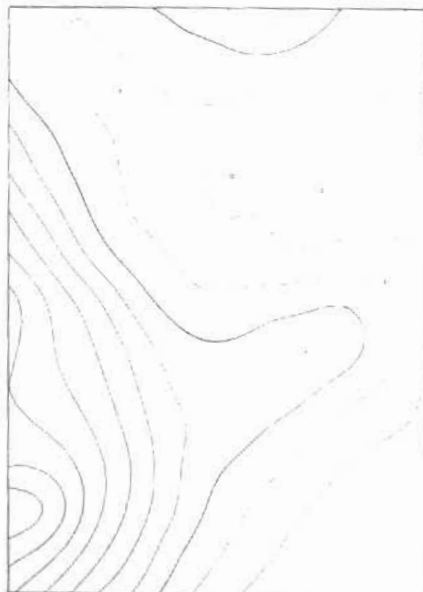
3β

Α. Δ. 1975. 3. x 1.100
 1:100 000 1:100 000 1:100 000



3γ

Α. Δ. 1975. 3. x 1.100
 1:100 000 1:100 000 1:100 000



3δ

Α. Δ. 1975. 3. x 1.100
 1:100 000 1:100 000 1:100 000



3ε

Α. Δ. 1975. 3. x 1.100
 1:100 000 1:100 000 1:100 000

Σχ. 3. Ίσοϋψεις καμπύλαι εις τὰς γεοδυναμικὰς επιφανείας α 100, β 300, γ 500, δ 700, ε 900 MB κατά την χρονικήν στιγμήν t₀.

πέδου εκάστου σημείου του Β. ημισφαιρίου. Ἡ κλίμαξ τῆς προβολῆς εἶναι

$$m = \frac{1 + \eta\mu 60^\circ}{1 + \eta\mu \varphi}$$

ἐνθα φ τὸ πλάτος καὶ ἰσχύει διὰ μὲν μονοδιάστατα μεγέθη

$M_1, m M_1^\Sigma = M_1^{II}$ διὰ δὲ διδιάστατα μεγέθη $M_2, M_2^\Sigma = m^2 M_2^{II}$ ἐνθα τὰ σύμβολα Σ, II ἀναφέρονται ἐπὶ τῆς σφαίρας ἢ ἐπὶ τοῦ προβολικοῦ ἐπιπέδου ἀντιστοιχῶς.

Ἐπὶ τῆς ὡς ἄνω προβολῆς δημιουργοῦμεν τὸ πλέγμα σημείων ἴσης ἀποστάσεως ὡς πρὸς x καὶ y , διὰ τὸ ὁποῖον σύμφωνα μὲ τὸ πρότυπον τῆς Ἑθνικῆς Μετεωρολογικῆς Ὑπηρεσίας ἰσχύει $\Delta x = \Delta y = 127 \text{ km}$.

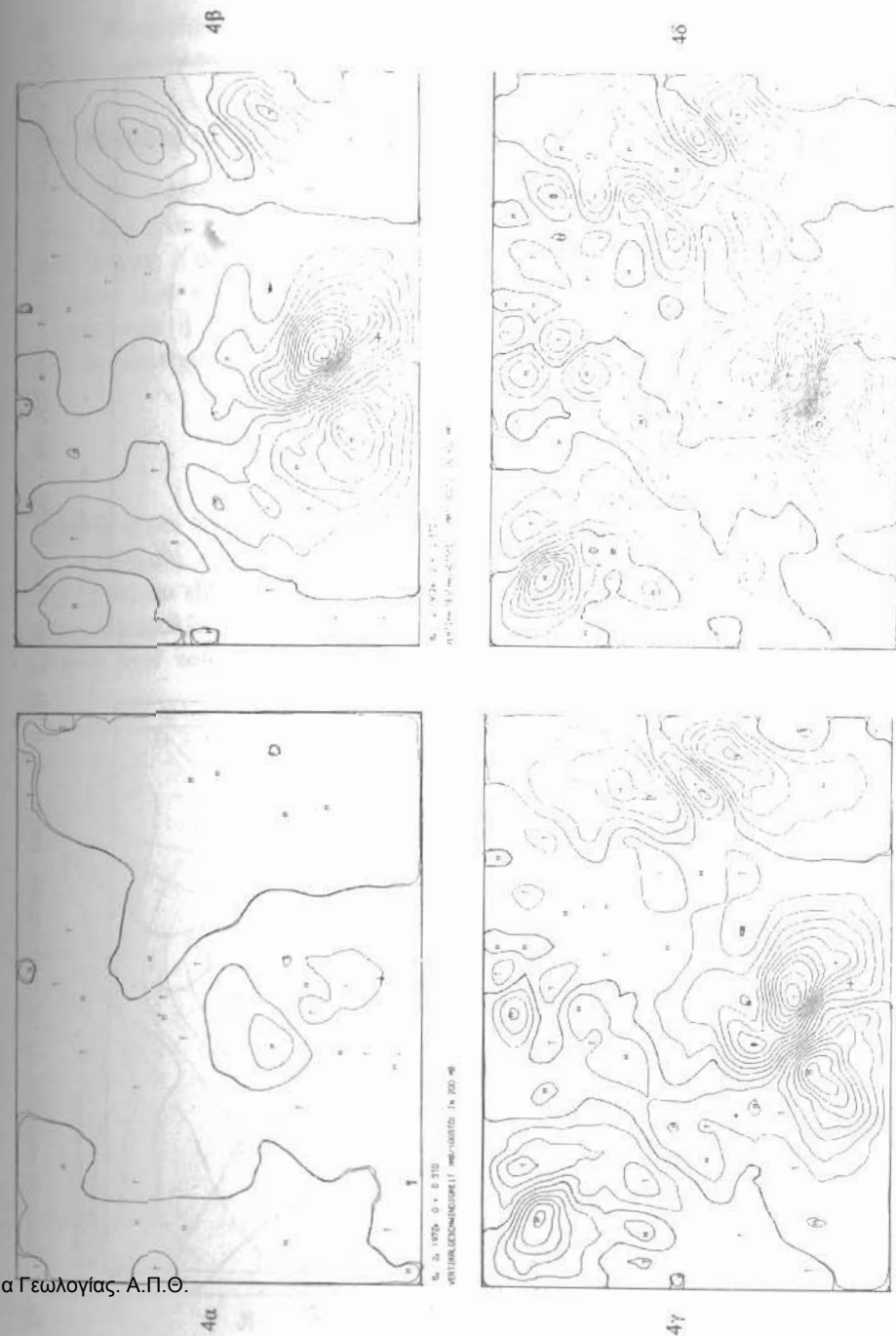
Διὰ τῆς ὡς ἄνω προβολῆς ἕκαστος Μετ. Σταθμὸς ἀπεικονίζεται ἐπὶ τοῦ ἐπιπέδου τούτου καὶ δυνάμεθα ἐκ τῶν παρατηρήσεων καὶ μετρήσεων τῶν Μετ. Σταθμῶν νὰ ὑπολογίζωμεν διὰ τῆς ἀντικειμενικῆς μεθόδου ἀναλύσεως τὰς τιμὰς εἰς τὰ σημεία τοῦ πλέγματος.

Δὲν θὰ ἐπεκταθῶμεν ἐπὶ τῆς ἀντικειμενικῆς μεθόδου ἀναλύσεως, ἀλλὰ ἀπλῶς θὰ ἀναφέρωμεν ὅτι αὕτη ὑπῆρξεν τὸ πρῶτον ἐμπόδιον τῆς ἀριθμητικῆς προγνώσεως τοῦ καιροῦ, διότι δι' αὐτῆς ὄχι μόνον ὑπολογίζεται ἡ τιμὴ μιᾶς παραμέτρου εἰς ἕκαστον σημεῖον, ἀλλὰ ἐὰν αὕτη εἶναι ἐσφαλμένη, ἀπαιτεῖται ἐν συνεχείᾳ διόρθωσις τῇ βοήθειᾳ τῶν γειτονικῶν σημείων, ὥστε αἱ ἰσοπληθεῖς καμπύλαι τῆς ἀναλύσεως νὰ εἶναι λείαι ἀφ' ἑνὸς καὶ ἀφ' ἑτέρου, ὅταν πρόκειται περὶ ρευματοσυναρτήσεων νὰ πληροῦται τὸ κριτήριον τῆς ἑλλειπτικότητος διὰ τὰς ἐξιπτώσεις. Ἀφοῦ κατασκευασθοῦν αἱ ἀναλύσεις αὗται δι' ὅλας τὰς κυρίας γεωδυναμικὰς στάθμας ἤτοι 900, 700, 500, 300, 100 MB ἐξετάζεται ἡ κατακόρυφος συνέπεια τῶν μετεωρολογικῶν παραμέτρων καὶ ἐὰν ἀπαιτῆται, γίνονται αἱ σχετικαὶ διορθώσεις.

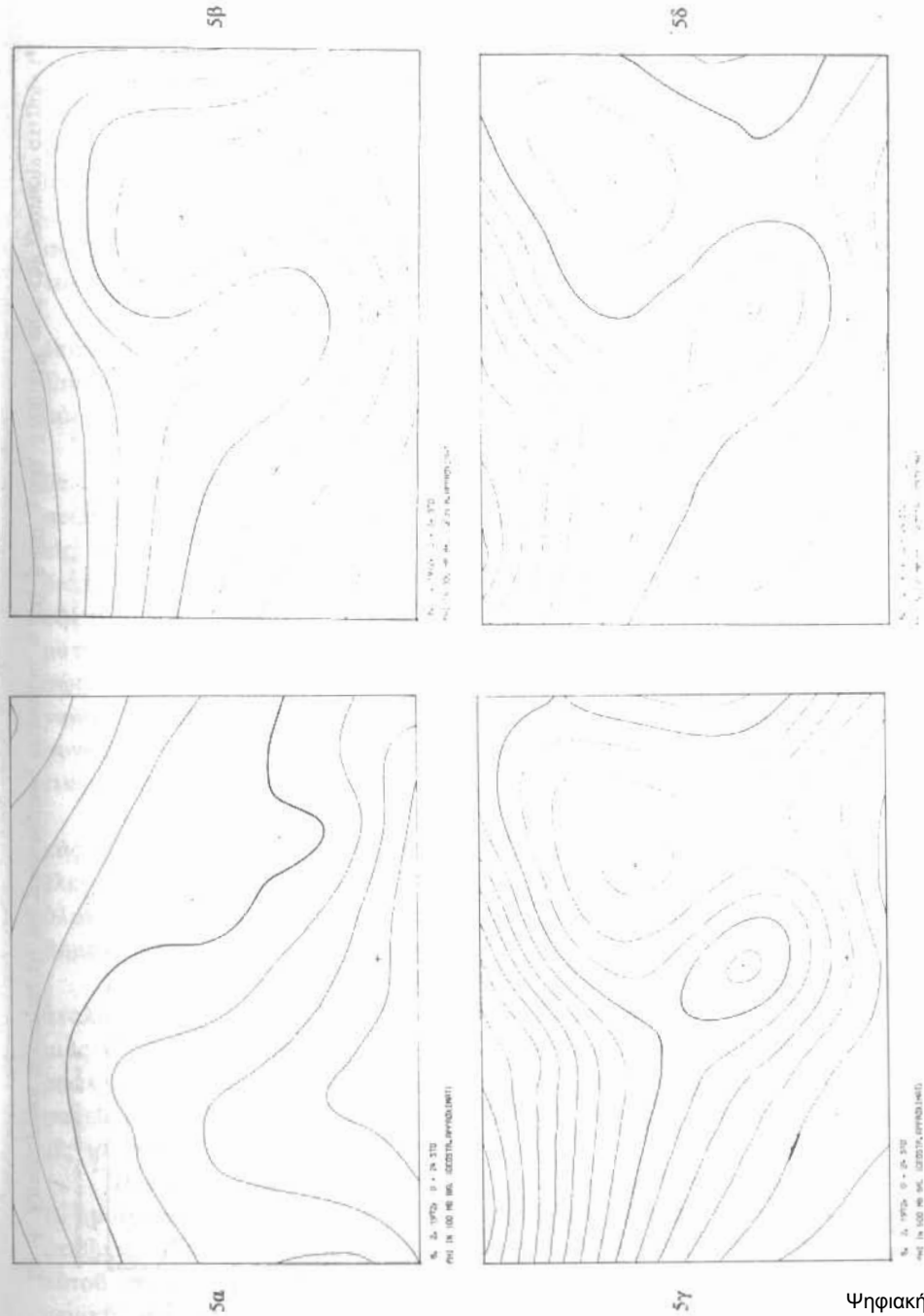
Τότε καὶ μόνον τότε τὸ ἀρχικὸν πεδίων τῶν παραμέτρων ὑποτελεῖ τὰς ἀρχικὰς συνθήκας κατὰ τὴν χρονικὴν στιγμήν t_0 , ὅταν ἔχουν γίνει οἱ προηγούμενοι ἔλεγχοι τῆς ἀντικειμενικῆς ἀναλύσεως ἐν ἐναντίᾳ περιπτώσει πᾶσα προσπάθεια ὁλοκληρώσεως τῶν ἐξιπτώσεων καθιστᾷ αὐτὰς ἀσταθεῖς εἰς τὰ δύο ἢ τρία πρῶτα βήματα τῆς ἐπαναληπτικῆς μεθόδου.

Σήμερον εἰς τὴν Ἑθνικὴν Μετεωρολογικὴν Ὑπηρεσίαν ἀντικειμενικαὶ ἀναλύσεις γίνονται δοκιμαστικῶς μόνον διὰ τὴν στάθμην τῶν 500 MB καὶ ἐπὶ μιᾶς κλειστῆς ὀρθογωνίου περιοχῆς ἐκ 43×31 σημείων καλυπτύσεως τὴν Εὐρώπην. Δι' ὁλόκληρον τὴν ἀτμόσφαιραν ἀντικειμενικαὶ ἀναλύσεις ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας ἕως τὰ 100 MB ὑπάρχουν εἰς μαγνητοταινίας, αἵτινες κατασκευάζονται εἰς τὰ μεγάλα μετεωρολογικὰ κέντρα.

Ἡμεῖς ὡς ἀρχικὸν πεδίων λαμβάνομεν, ἐκ μαγνητοταινιῶν, τὰς ἀναλύσεις Β. ημισφαιρίου τῆς Γερμανικῆς Μετεωρολογικῆς Ὑπηρεσίας δι' ὅλας τὰς κυρίας στάθμας, αἵτινες ἀναφέρονται εἰς πλέγμα σημείων ἀποστάσεως 381 km καὶ ἐξ αὐτοῦ ὑπολογίζομεν διὰ τὴν ὡς ἄνω κλειστὴν ὀρθογώνιον περιοχὴν δι' ἀντικειμενικῆς ἀναλύσεως καὶ τετραγωνικῆς παρεμβολῆς πλέγμα σημείων ἀποστάσεως 127 km.



Σχ. 4. Κατακόρυφοι ταχύτητες εἰς τὰς γεωδυναμικὰς ἐπιφανείας α 200, β 400, γ 600, δ 800 MB κατὰ τὴν χρονικὴν στιγμήν t_0 .



5. Ίσοθερές καμπύλες εις τὰς γεωδυναμικὰς ἐπιφανείας α 100, β 300, γ 500, δ 700, ε 900 MB κατά την χρονικὴν στιγμήν $t_0 + 24$ ὥρ.

Κατωτέρω θ' αναπτύξωμεν θεωρητικῶς δύο διαφορετικὰς μεθόδους ποσο-
τικῆς προγνώσεως ὑετοῦ βάσει τῆς μεθοδολογίας τῆς ἀριθμητικῆς προγνώσεως:

1η Μέθοδος :

Τὸ «ὕετισιμον ὕδωρ» ὡς ὄρος χρησιμοποιεῖται εὐρέως εἰς τὴν μετεωρο-
λογία καὶ εἶναι τὸ ποσοδὸν τοῦ περιεχομένου ὕδατος εἰς μίαν στήλην ἀτμοσφαιράς
τῆς ὁποίας ἡ βάσις εἶναι ἴση πρὸς τὸ μοναδιαῖον ἐμβαδόν, τὸ δὲ ὕψος αὐτῆς ἐκ-
τείνεται ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας τῆς γῆς ἕως τὴν στάθμην πίεσεως p , ἣτις συνήθως
λαμβάνεται ἢ 500 MB ἢ 0 MB. Ἐστω W τὸ ὑετίσιμον ὕδωρ τῆς στήλης τότε
εἰς τὸ σύστημα (x, y, p, t)

$$W = \frac{1}{g} \int_0^{\pi} q dp \tag{1}$$

ὅπου q εἶναι ἡ εἰδικὴ ὑγρασία καὶ π ἡ πίεσις ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς γῆς.
Ἐπειδὴ τὸ κατώτερον στρώμα τῆς ἀτμοσφαιράς παίζει σπουδαῖον ρόλον
εἰς τοιοῦτου εἶδους θέματα καὶ ἡ πρόγνωσις τῆς ὑγρασίας παρουσιάζει πλείστα
ὄσας δυσκολίας λόγῳ τοπικῶν παραγόντων ὄρεογραφίας κλπ., θὰ χρησιμοποιή-
σωμεν ἀντὶ τοῦ συστήματος (x, y, p, t) τὸ σύστημα (x, y, σ, t) ὅπου $\sigma = p/\pi$
(PHILLIPS 1957) ἢ κατακόρυφος συν-
τεταγμένη. Κατόπιν τούτου ἡ ἐξίσω-
σις (1) γίνεται :

$$W = \frac{\pi}{g} \int_0^1 q d\sigma \tag{2}$$

Μὲ τὴν ὑπόθεσιν ὅτι δὲν λαμβάνει
χώραν ἐξάτμισις ἢ συμπύκνωσις ἡ
εἰδικὴ ὑγρασία εἶναι μία συντηρη-
τικὴ ιδιότης καὶ εἰς τὴν περίπτωσιν
αὐτὴν ἀντὶ τῆς εἰδικῆς ὑγρασίας δυ-
νάνεθα νὰ ὀμιλῶμεν περὶ μιᾶς ποσό-
τητος q' τὴν ὁποίαν θὰ καλοῦμεν ἐφ'
ἐξῆς εἰκονικὴν εἰδικὴν ὑγρασίαν.

Μὲ τὴν εἰσαγωγὴν τῆς ἐννοίας
τῆς εἰκονικῆς εἰδικῆς ὑγρασίας κατ'
ἀκολουθίαν εἰσάγεται τὸ εἰκονικὸν
ὕετισιμον ὕδωρ

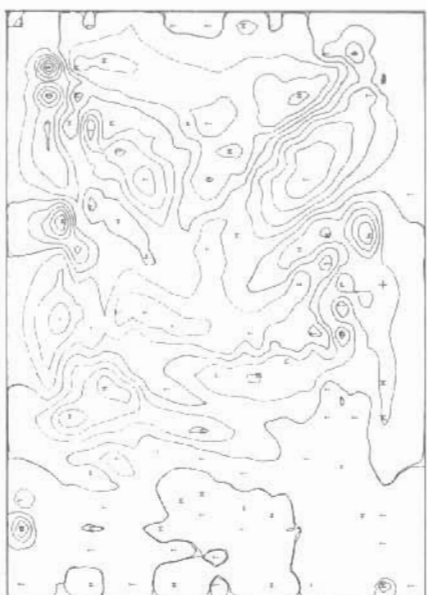
$$W' = \frac{\pi}{g} \int_0^1 q' d\sigma \tag{2a}$$

6β



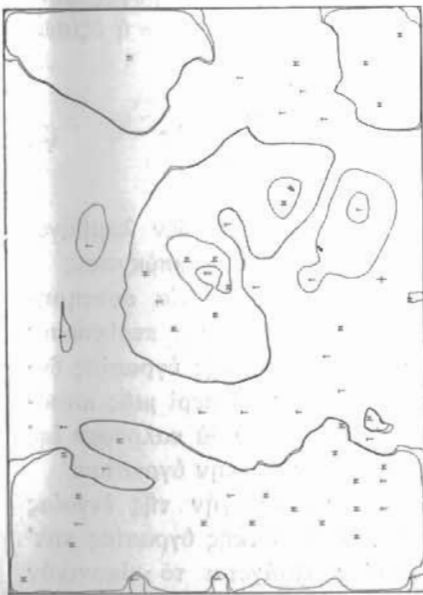
6. Δ. 1976. 6 + 24 370
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ 14 200 Μ

6δ



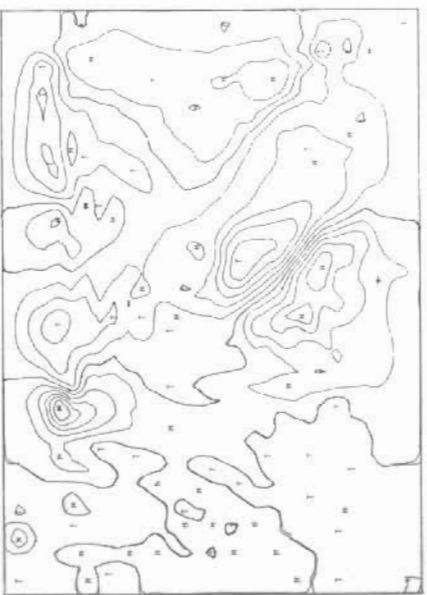
6. Δ. 1976. 6 + 24 370
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ 14 200 Μ

6α



6. Δ. 1976. 6 + 24 370
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ 14 200 Μ

6γ



6. Δ. 1976. 6 + 24 370
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΙ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ 14 200 Μ

Σχ. 6. Κατακόρυφοι ταχύτητες εις τὰς γεωδυναμικὰς ἐπιφανείας α 200, β 400, γ 600, δ 800 MB κατὰ τὴν χρονικὴν στιγμὴν $t_0 + 24 \text{ ὥρ.}$

Τὸ ὅτι ἡ εἰκονικὴ εἰδικὴ ὕγρασία εἶναι συντηρητικὴ ιδιότης συνεπάγεται ὅτι

$$\frac{dq'}{dt} = 0 \quad \text{ἢ} \quad \frac{\partial q'}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla q' + \dot{\sigma} \frac{\partial q'}{\partial \sigma} = 0 \quad (3)$$

ὅπου $\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}$.

Ἐκ τῆς ἐξισώσεως συνεχείας ἔχομεν

$$\nabla \cdot \pi \mathbf{V} + \pi \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} + \frac{\partial \pi}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

Ἐκ τῶν ἐξισώσεων (3) καὶ (4) λαμβάνομεν δι' ἀντικαταστάσεως τὴν προγνωστικὴν ἐξίσωσιν τοῦ q' δι' οἰανδήποτε στάθμην σ

$$\frac{\partial q'}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla q - q \nabla \cdot \mathbf{V} - \frac{\partial q \dot{\sigma}}{\partial \sigma} - \frac{q}{\pi} \left(\frac{\partial \pi}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \pi \right). \quad (5)$$

Λαμβάνοντες τὴν μερικὴν παράγωγον ὡς πρὸς τὸν χρόνον τοῦ εἰκονικοῦ ὑετίσμου ὕδατος ἔχομεν

$$\frac{\partial W'}{\partial t} = \frac{\pi}{g} \int_0^1 \frac{\partial q'}{\partial t} d\sigma + \frac{W'}{\pi} \frac{\partial \pi}{\partial t} \quad (6)$$

ἀντικαθιστώντες τὴν (5) εἰς τὴν (6) καὶ λαμβάνοντες ὑπ' ὄψιν ὅτι $\dot{\sigma}$ τείνει πρὸς τὸ μηδὲν διὰ τὰς τιμὰς $\sigma = 0$ καὶ $\sigma = 1$ δηλαδὴ εἰς τὴν ἐπιφάνειαν καὶ τὴν κορυφὴν τῆς ἀτμοσφαιρας, λαμβάνομεν τὴν προγνωστικὴν ἐξίσωσιν διὰ τὸ εἰκονικὸν ὑετίσιμον ὕδωρ

$$\frac{\partial W'}{\partial t} = \frac{\pi}{g} \int_0^1 (-\mathbf{V} \cdot \nabla q) d\sigma + \frac{\pi}{g} \int_0^1 (-q \nabla \cdot \mathbf{V}) d\sigma + \frac{1}{g} \int_0^1 (-q \mathbf{V} \cdot \nabla \pi) d\sigma \quad (7)$$

Ἡ ὁλοκλήρωσις τῆς ἀνωτέρω σχέσεως ἐφ' ὁλοκλήρου τῆς γῆς ἀποδεικνύει ὅτι τὸ εἰκονικὸν ὑετίσιμον ὕδωρ τῆς ἀτμοσφαιρας εἶναι συντηρητικὴ ιδιότης.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω διαφαίνεται ὅτι διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ δευτέρου μέλους ἀπαιτοῦνται αἱ ποσότητες q , \mathbf{V} καὶ $\nabla \cdot \mathbf{V}$, αἱ μεταβολαὶ αὐτῶν κατὰ τὴν κατακόρυφον καὶ αἱ προγνωστικαὶ τιμαὶ αὐτῶν.

Διὰ τῆς εἰσαγωγῆς τῆς κατακόρυφου κινήσεως τῆς ἀτμοσφαιρας, ἤτοι τῆς παραμέτρου $\omega = \frac{dp}{dt}$ καὶ τῆς εἰσαγωγῆς κλιματολογικῶν παραμέτρων ὡς καὶ διὰ τῆς καταλλήλου τεχνικῆς τῆς ἐξομαλύνσεως ἢ ἀνωτέρω ἐξίσωσις ἀνάγεται εἰς τὴν

$$\frac{\partial W'}{\partial t} = -(k_1 \mathbf{V}_1 + k_2 \bar{\mathbf{V}}) \cdot \nabla W - \frac{W k_3}{\pi} \omega_m + \frac{W \sigma_m k_3}{\pi} \bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \pi + \frac{W}{\pi} \cdot (1 + \sigma_m k_3) \frac{\partial \pi}{\partial t} \quad (8)$$

όπου k_1, k_2, k_3 κλιματολογικοί παράμετροι, ο δείκτης m αναφέρεται επί της στάθμης σ , όπου $\mathbf{V} = \bar{\mathbf{V}}$

και όπου
$$(\bar{\quad}) = \int_0^1 (\quad) d\sigma.$$

Αί τιμαί τῶν παραμέτρων k_1, k_2, k_3 απαιτοῦν μακροχρονίους ἐρεῦνας καί κατὰ ἐποχάς ἢ καί κατὰ περιπτώσεις ἀκόμα, τὰ δὲ ἀποτελέσματα τῆς μεθόδου ἐξαρτῶνται κυρίως ἐξ αὐτῶν, δεδομένου ὅτι αἱ λοιπαὶ ὑπηρερχόμενοι παράμετροι μὲ τὰ σημερινὰ βαροκλιτικὰ μοντέλα ὑπολογίζονται μὲ ἀρκετὴν ἀκρίβειαν.

Ἡ μέθοδος αὕτη εἶναι πολυδάπανος καθ' ὅσον ἀπαιτεῖ μεγάλας ὑπολογιστικὰς μηχανὰς καί χρόνον. Ἐφαρμόζεται εἰς τὰς Ἑνωμένης Πολιτείας ἐλαφρῶς τροποποιημένη μὲ ἀρκετὰ ἱκανοποιητικὰ ἀποτελέσματα.

2α Μέθοδος :

Ἐάν ὑποθέσωμεν r τὴν ἀναλογίαν μίγματος, τότε κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς συμπυκνώσεως $\frac{dr}{dt} < 0$, οὕτω τὸ ποσόν, τὸ ἐκ τῆς συμπυκνώσεως προερχόμενον ἀνὰ μονάδα ὄγκου, εἶναι $-\rho_d dr/dt$ ὅπου ρ_d εἶναι ἡ πυκνότης τοῦ ξηροῦ ἀέρος. Τὸ ποσόν τοῦ ὑετοῦ ποὺ φθάνει εἰς τὸ ἔδαφος εἶναι

$$\bar{P} = \int_{p_0}^0 \frac{1}{g\rho_w} \frac{dr}{dt} dp \tag{9}$$

ὅπου
$$\frac{dr}{dt} = \begin{cases} 0 \\ \frac{dr_s}{dt} \end{cases}, \quad \text{ὅταν } r = r_s$$

ρ_w ἡ πυκνότης τοῦ νεροῦ (1 gr. cm^{-3}), p_0 ἡ πίεσις ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς γῆς, r_s ἡ ἀναλογία μίγματος κατὰ τὸν κορεσμόν, συνάρτησις μόνον τῆς πίεσεως p καὶ τῆς θερμοκρασίας T . Μὲ τὴν ὑπόθεσιν ὅτι δὲν λαμβάνει χώραν ἐξάτμισις τὸ ὅλοκλήρωμα εἶναι διάφορον τοῦ 0, μόνον ὅταν $\frac{dr}{dt} < 0$.

Ὁλοκληρώνοντας τὴν (9) διὰ μίαν χρονικὴν περίοδον Γ λαμβάνομεν τὸν συνολικὸν ὑετὸν κατὰ τὴν περίοδον αὐτήν, ἥτοι

$$\bar{P} = \int_t^{t+\Gamma} \int_{p_0}^0 \frac{1}{g\rho_w} \frac{dr}{dt} dp \tag{10}$$

Ἡ ἐξίσωσις (9) μετασχηματίζεται εἰς τὴν

$$\bar{P} = \frac{1}{g\rho_w} \int_{p_0}^0 \omega dr, \quad \text{ὅπου } \omega = \frac{dp}{dt} \tag{11}$$

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

καὶ λαμβάνει τιμὰς διαφόρους τοῦ μηδενὸς διὰ περιοχάς, ὅπου $\omega < 0$, δηλαδὴ ὑπάρχουν ἀνοδικαὶ κινήσεις, καὶ τὸ $r = r_s$. Ἐκ τῆς σχέσεως (11) διαφαίνεται ὅτι διὰ τὸν ὑπολογισμόν τοῦ ὑετοῦ ἀπαιτεῖται ἡ γνῶσις τῶν τιμῶν ω, r ὡς καὶ τῶν προγνωστικῶν τιμῶν αὐτῶν.

Κατωτέρω θὰ ἀναπτύξωμεν τὰς μεθόδους ὑπολογισμῶν τῶν τιμῶν ω, r .

2Α. Ὑπολογισμὸς τῶν κατακορύφων ταχυτήτων ω .

Πολλαὶ μέθοδοι ἔχουν ἀναπτυχθῆ διὰ τὸν ὑπολογισμόν τῶν κατακορύφων ταχυτήτων, ἐμπειρικαὶ ἢ στατιστικαὶ, δίδουσαι μίαν προσέγγισιν ἐνίοτε ἐσφαλμένην.

Τὸ ω θὰ ἠδύνατο νὰ ὑπολογισθῆ εὐκόλως ἐκ τῆς ὑδροστατικῆς ἐξισώσεως, ἀλλὰ διὰ τὸν ὑπολογισμόν αὐτὸν ἀπαιτεῖται ἡ ἀπ' εὐθείας μέτρησις τῆς κατακορύφου συνιστώσεως w τοῦ ἀνέμου. Διὰ τὴν μέτρησιν αὐτήν δὲν ἔχουν ἀναπτυχθῆ μέχρι στιγμῆς ἀξιόπιστοι μέθοδοι καὶ εἶναι δύσκολον νὰ πραγματοποιηθῆ. Τὰ πλέον ὀρθὰ ἀποτελέσματα δίδει ἡ καλουμένη εἰς τὴν Μετεωρολογίαν « ω -ἐξίωσις»

$$f_0^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} + \sigma(p) \nabla^2 \omega = \frac{1}{f_0} \frac{\partial}{\partial p} [J(\Phi, \nabla^2 \Phi + f_n f)] - \nabla^2 \left[\frac{1}{f_0} J \left(\Phi, \frac{\partial \Phi}{\partial p} \right) \right] \tag{12}$$

ὅπου f ἡ Κοριόλειος παράμετρος, Φ τὸ γεωδυναμικόν, σ ὁ παράγων εὐσταθείας καὶ f_0 ἡ μέση Κοριόλειος παράμετρος.

Ἡ ἐξίσωσις αὕτη τύπου Helmholtz εἶναι συνδυασμὸς τῆς ἐξισώσεως τοῦ στροβιλισμοῦ καὶ τῆς θερμοδυναμικῆς ἐξισώσεως, προσαρτωμένη δὲ εἰς ἓνα βαροκλιτικὸν μοντέλον 5 ἐπιφανειῶν 100, 300, 500, 700, 900 MB εἶναι δυνατόν νὰ μᾶς παρέχῃ τὰς κατακορύφους ταχύτητας καὶ μάλιστα μὲ βῆμα 20 λεπτῶν εἰς τὰς στάθμας 200, 400, 600, 800 MB.

Ἡ λύσις τῆς ἐξισώσεως αὐτῆς γίνεται δι' ἐπαναληπτικῆς μεθόδου

$$\omega_k^{v+1} = \omega_k^v + a R_k^v$$

ὅπου a ὁ «overrelaxation factor».

Διὰ τὴν λύσιν τῆς ἐξισώσεως αὐτῆς καὶ συγκεκριμένα διὰ τὸν ὑπολογισμόν τοῦ σταθεροῦ συντελεστοῦ a ἀπαιτοῦνται πολλαὶ δοκιμασίαι, ἵνα ἡ λύσις συγκλίνῃ ταχέως καὶ μὲ μικρὸν σφάλμα, πλὴν ὅμως ὁ παράγων οὗτος ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ πλήθους τῶν σημείων τῆς περιοχῆς.

Ἐν Γερμανίᾳ, καὶ συγκεκριμένα εἰς τὸ τμήμα Ἑρευνῶν τῆς Μετεωρολογικῆς Ὑπηρεσίας εἰς Offenbach, ἀνεπτύχθη μέθοδος λύσεως τῆς ω -ἐξισώσεως ἥτις ὑπολογίζει ἐκ τῶν μηδενικῶν θέσεων τῶν πολυωνύμων Tschebyscheff 50 σταθερὰς a_i ($i = 1-50$) αἱ ὁποῖαι ἐξαρτῶνται μόνον ἀπὸ τὴν μεγίστην καὶ ἐλαχίστην σημείων μὲ «ὑπόλοιπο» κατὰ τὴν 50ῆν ἐπανάληψιν 2,1 %.

Ἀκολουθοῦντες τὴν ὡς ἄνω μέθοδο καὶ μὲ παραδοχὰς ὅτι ἐπὶ τοῦ συνόρου αἱ κατακόρυφοι ταχύτητες εἶναι μηδέν, δυνάμεθα μὲ ἀρκετὴν προσέγγισιν νὰ ἔχωμεν κάθε 20 λεπτά τὰς κατακορύφους ταχύτητας.

2B. Ὑπολογισμὸς τῆς ἀναλογίας μίγματος r .

Διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἀναλογίας μίγματος τὰ πράγματα δυσκολεύουν, καθ' ὅσον οὗτος ἀπαιτεῖ προγνωστικὰς τιμὰς τῆς ὑγρασίας, ἡ ὁποία εἶναι εὐμετάβλητος καὶ ἐξαρτᾶται κυρίως ἀπὸ τοπικοὺς παράγοντας.

Ὑποθέτοντες καὶ πάλιν ὅτι δὲν λαμβάνουν χώραν συμπεκνώσεις οὔτε ἐξατμίσεις, δυνάμεθα νὰ εἴπωμεν, ὅτι ἡ ἀναλογία μίγματος εἶναι μία συντηρητικὴ ἰδιότης καὶ ἀντ' αὐτῆς εἰσάγωμεν τὴν ποσότητα r' τὴν ὁποίαν θὰ καλοῦμεν εἰκονικὴν ἀναλογίαν μίγματος. Δι' αὐτὴν θὰ ἰσχύη ἡ σχέσις

$$\frac{dr'}{dt} = \frac{\partial r'}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla r' - w \frac{\partial r'}{\partial p}, \quad (13)$$

ἡ ἀναλογία μίγματος δύναται νὰ ἐκφρασθῇ ὑπὸ τῆς ἀπολύτου ὑγρασίας ρ^* ὑπὸ τῆς σχέσεως $\rho^* = r' \rho_a$.

Μὲ τὴν ὑπόθεσιν ὅτι οἱ ὕδρατμοὶ ὑπακούουν εἰς τοὺς νόμους τῶν τελείων ἀερίων

$$\rho^* = \frac{e}{R^* T} \quad \text{ἐνθα} \quad R^* = \frac{mR}{m^*}$$

ὅπου e ἡ τάσις τῶν ἀτμῶν, συνάρτησις τῆς θερμοκρασίας T .

m^* τὸ μοριακὸν βάρους τῶν ὕδρατμῶν

m τὸ μοριακὸν βάρους τοῦ ξηροῦ ἀέρος

R ἡ σταθερὰ διὰ τὸν ξηρὸν ἀέρα

R^* ἡ σταθερὰ διὰ τὸν ὑγρὸν ἀέρα.

Ἐκ τῆς ἐξισώσεως τῶν Clausius - Clapeyron καὶ διὰ καταλλήλων μετασχηματισμῶν ἀποδεικνύεται ὅτι εἰς τὴν κατάστασιν κόρου ἰσχύει

$$\frac{d \ln r_s}{dt} \approx \Lambda \frac{\partial \ln \rho_a}{\partial p} \omega \quad \text{διὰ} \quad \omega < 0 \quad (14)$$

ὅπου Λ διὰ κορεσμένον ἀέρα εἶναι συνάρτησις μόνον τῶν p καὶ T .

Αἱ ἐξισώσεις (9), (10), (13) καὶ (14) λαμβανόμεναι μὲ τὴν σύγχρονον γνώσιν τοῦ πεδίου \mathbf{V} καὶ τῶν κατακορύφων ταχυτήτων εἶναι ἀρκετὰ διὰ μίαν προσεγγιστικὴν μέθοδο προγνώσεως τοῦ ὑετοῦ.

Ὡς παράδειγμα αὐτῆς τῆς μεθόδου ἔχομεν κατασκευάσει ἓν βαροκλιτικὸν μοντέλο 5 γεωδυναμικῶν σταθμῶν διὰ νὰ λαμβάνωμεν τὰς προγνωστικὰς τιμὰς κάθε 20 λεπτά τῶν \mathbf{V} , ω , βέβαια τὸ μοντέλο εἶναι σχεδὸν γεωστροφικῆς προσεγγίσεως.

Διὰ τὴν ὀλοκλήρωσιν τοῦ ὑετισίμου ὕδατος διὰ μίαν χρονικὴν περίοδον 24 ὥρων λόγῳ ἑλλείψεως ἀρχείου ὑγρασίας, θεωρήσαμεν δι' ἐκάστην στάθμην γραμμικὴν μεταβολὴν τῆς ὑγρασίας εἰς τὸ διάστημα t_0 καὶ $t_0 + 24$ καὶ ὅτι εὐρισκόμεθα πάντοτε εἰς κεκορεσμένην κατάστασιν. Ὀλοκληρώσαμεν τὴν ἐξίσωσιν διὰ νὰ ἔχωμεν κάποιο ἀποτέλεσμα, ἀσχετῶς ἂν τοῦτο εἶναι ὀρθὸν ἢ ὄχι. Δι' αὐτοῦ τοῦ τρόπου ἐθέσαμεν τὰς βάσεις καὶ ἀνοίξαμεν πρὸς μελέτην ἓνα νέον κεφάλαιον, διὰ τὸ τμήμα Συνοπτικῆς Μετεωρολογίας τῆς Ἑθνικῆς Μετεωρολογικῆς Ὑπηρεσίας.

Εὐελπιστοῦμεν ὅτι τοῦτα ἀποτελοῦν τὴν ἀπαρχὴν μιᾶς σειρᾶς ἐρευνῶν εἰς τὰς ὁποίας θὰ προσπαθήσωμεν νὰ συμπεριλάβωμεν τὴν ὑγρασίαν, τὴν ὄρεογραφίαν καὶ τὰς διαβατικὰς θερμάνσεις τῆς θαλάσσης.

Ὅπως δὴποτε τὸ ὅλον θέμα εἶναι ἄλυτον παγκοσμίως, καὶ τὰ ἐκ τῆς ὀλοκληρώσεως ἀποτελέσματα τοῦ ὑετισίμου ὕδατος συσχετίζονται μὲ τὸν πραγματικὸν ὑετὸν, τὸν παρατηρηθέντα κατὰ ἓνα χρονικὸν διάστημα καὶ ἐξάγονται συντελεσταὶ συσχετίσεως πρὸς ὑλοποίησιν τῶν ἀποτελεσμάτων τῶν προγνωστικῶν μοντέλων.

Σκοπὸς τῆς διαλέξεώς μας ἦτο, ὅπως, εἰς τὸ περιορισμένον χρονικὸν διάστημα τὸ ὁποῖον μᾶς διετέθη, εἰσαγάγωμεν ὑμᾶς, κατὰ τὸ δυνατόν, εἰς τὴν τεχνικὴν τῆς Μετεωρολογίας διὰ τῆς ἐκθέσεως τοῦ τρόπου ἐργασίας ἐπὶ τοιούτων θεμάτων, χωρὶς νὰ παραλείπωμεν τὰς δυσκολίας, τὰς ὁποίας ἀντιμετωπίζομεν, καὶ τὰς προσεγγίσεις, τὰς ὁποίας εἴμεθα ἠναγκασμένοι νὰ κάνωμεν, εἰς τὴν προσπάθειάν μας πρὸς ἐπίλυσιν τοιούτων προβλημάτων.



Σχ. 7. Ἴσοθετοὶ καμπύλαι 24 ὥρων διὰ τὴν Ἑλλάδα (ἀνά 6 mm βροχῆς). (Σ. Σ. πρβλ. χάρτην Εὐρώπης τοῦ σχ. 2).