

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 4ΗΣ ΙΟΥΝΙΟΥ 1992

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΜΙΧΑΗΛ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ

ΓΕΩΛΟΓΙΑ.— Τὸ φαινόμενο τοῦ θερμοκηπίου ἐξεταζόμενο ὑπὸ τὸ φῶς γεωλογικῶν κριτηρίων, ὑπὸ τοῦ Ἀκαδημαϊκοῦ κ. Λουκᾶ Μούσουλου*.

Ἐνα ἀπὸ τὰ σοβαρότερα προβλήματα ποὺ ἀπασχολοῦν σήμερα τὴ Διεθνή Κοινότητα εἶναι τὸ «φαινόμενο τοῦ θερμοκηπίου». Ἡ συνεχὴς ἐκβολὴ στὴν ἀτμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων CO₂, μὲ τὴν ὁποία συνδέεται ἡ βιομηχανικὴ δραστηριότητα, ἐνισχύει τὸ ἐν λόγῳ φαινόμενο ποὺ ὀδηγεῖ, ὡς πιστεύεται, σὲ προοδευτικὴ ἀνοδοτῆς θερμοκρασίας τοῦ πλανήτη μας μὲ πολύμορφες καὶ καταστροφικὲς συνέπειες ἐν ὧσι.

Πρόκειται ὁμολογουμένως περὶ σοβαροτάτου προβλήματος. Καὶ τίθεται τὸ ἐρώτημα: συνιστοῦν πράγματι οἱ βιομηχανικὲς ἐκπομπὲς CO₂ οὐσιαστικὸ κίνδυνο ἀνατροπῆς τῆς θερμοκρασιακῆς καταστάσεως ποὺ σήμερα ἐπικρατεῖ;

Ἐπὶ τοῦ ἐρωτήματος αὐτοῦ καὶ γενικότερα ἐπὶ τοῦ θέματος τοῦ θερμοκηπίου ἔχει διεξαχθεῖ ἐκτεταμένη ἔρευνα καὶ ἔχει ἤδη συγκεντρωθεῖ ὀγκώδης βιβλιογραφία. Εἶναι δὲ περίεργο τὸ ὅτι κατὰ τὴν ἔρευνα αὐτὴ δὲν φαίνεται νὰ ἔχουν ληφθεῖ ὑπ' ὄψιν οἱ γεωλογικοὶ παράγοντες ποὺ ἔντονα ὑπηρετοῦνται καὶ διαμορφώνουν τὴν παρουσία τοῦ ἀνθρακὰ στὸ χῶρο παρὰ τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς.

Στὴν παρούσα ἀνακοίνωση ἐπιχειρεῖται ἡ σκιαγράφηση τῆς ἐπιδράσεως τῶν παραγόντων αὐτῶν. Συγκεκριμένα, καταβάλλεται προσπάθεια νὰ διευκρινισθεῖ μὲ βάση γεωλογικὰ κριτήρια καὶ δεδομένα, ἡ ποσότης, ἡ προέλευσις καὶ ἡ κατανομὴ τοῦ ἀνθρακὰ μέσα στὸν ἐν λόγῳ χῶρο· νὰ ἀποκαλυφθοῦν τὰ αἷτια ποὺ διαταράσσουν καὶ οἱ μηχανισμοὶ ποὺ ρυθμίζουν τὴν παρουσία τοῦ στοιχείου τούτου μέσα στὴν ἀτμό-

* L. MOUSSOULOS, **The greenhouse phenomenon examined under the light of geological criteria.**

σφαιρα τῆς Γῆς. Πάνω στὴν προκύπτουσα ἔτσι εἰκόνα προβάλλονται τέλος οἱ προερχόμενες ἀπὸ τὴ βιομηχανικὴ δραστηριότητα διαταραχὲς καὶ συνάγονται συμπεράσματα σχετικὰ μὲ τὸ ἐρώτημα ποὺ τέθηκε παραπάνω.

* * *

Γιὰ νὰ γίνουν καλύτερα ἀντιληπτὰ τὰ ὅσα θὰ ἀκολουθήσουν, θεωρεῖται σκόπιμο νὰ ἀποσαφηνισθεῖ τί ἀκριβῶς ἐννοοῦμε ὁμιλοῦντες περὶ φαινομένου θερμοκηπίου.

Κάθε θερμὸ σῶμα εἶναι πομπὸς θερμικῆς ἀκτινοβολίας. Ἡ ἀκτινοβολία αὕτῃ ἐκπέμπεται ἐκλεκτικὰ σὲ μῆκος κύματος ποὺ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ θερμοκρασία. Στὴν ἐπιφάνεια τοῦ Ἡλίου ἡ θερμοκρασία εἶναι γύρω στοὺς 6000°K , ἐνῶ στὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς γύρω στοὺς 300°K . Ἔτσι, ὁ Ἡλιος καὶ ἡ Γῆ ὡς πομποὶ θερμικῆς ἀκτινοβολίας στὶς ὡς ἄνω θερμοκρασίες ἐκπέμπουν ἐκλεκτικότερα γύρω στὰ μῆκη κύματος 0,5 μ. (ὁρατὴ) καὶ 100 m (ὑπέρυθρη ἀκτινοβολία) ἀντιστοίχως.

Διάφορα ἀέρια, τὰ ὁποῖα ὑπάρχουν σὲ μικρὲς συγκεντρώσεις μέσα στὴν ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς, ἐνῶ ἀφήνουν νὰ διέλθει ἀνεμπόδιστα ἡ ἀκτινοβολία τοῦ Ἡλίου ἀπορροφοῦν ἐκείνη τῆς Γῆς. Καλοῦνται δὲ τὰ ἀέρια αὐτὰ «ἀέρια θερμοκηπίου» γιατί, ὅπως εἶναι εὐνόητο, ἡ αὐξηση τῆς συγκεντρώσεώς των μπορεῖ νὰ ὀδηγήσει σὲ σημαντικὴ ἄνοδο τῆς θερμοκρασίας. Μεταξὺ τῶν ἐν λόγω ἀερίων ἰδιαιτέρη σημασία ἔχει τὸ CO_2 (διοξειδίου τοῦ ἀνθρακικοῦ) λόγω ποσότητος καὶ ἀπορροφητικότητος. Ἔτσι, παρουσία τοῦ CO_2 στὴν ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς τείνει νὰ δημιουργήσῃ ἕνα φαινόμενο θερμοκηπίου. Καὶ εἶναι φανερό ὅτι τὸ φαινόμενο αὐτὸ θὰ εἶναι τόσο ἐντονότερο ὅσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ συγκέντρωση τοῦ ἀερίου τούτου (Σχ. 1).

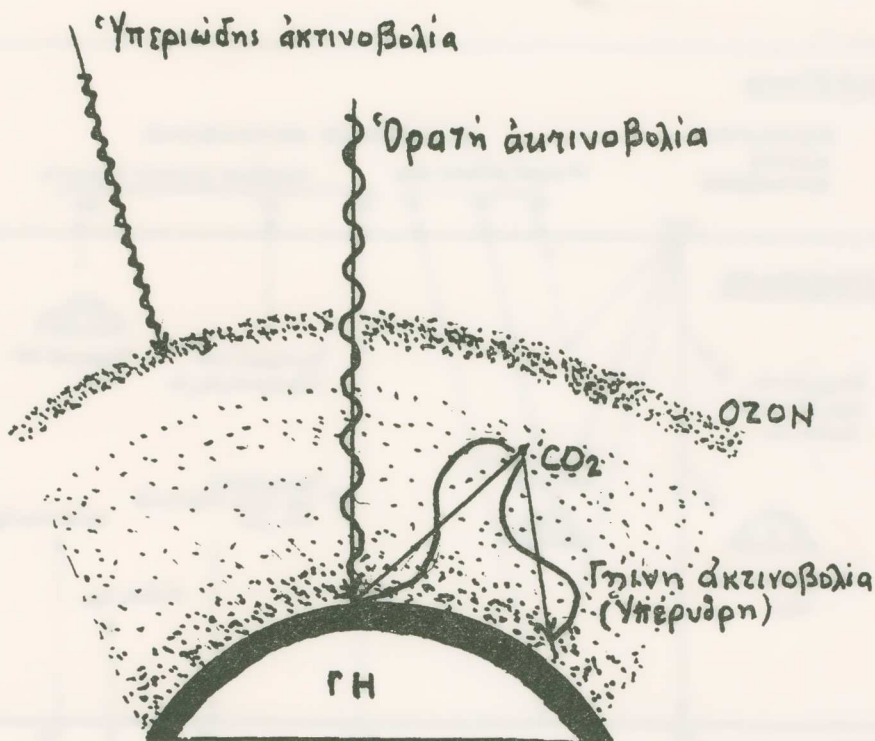
Ἐκτὸς τοῦ CO_2 σημαντικὸ ρόλο στὴ διαμόρφωση τοῦ φαινομένου παίζουν καὶ ἄλλα ἀέρια θερμοκηπίου ὅπως τὸ μεθάνιο, τὰ ὀξείδια ἀζώτου, οἱ χλωροφθοροάνθρακες, οἱ ὕδρατμοι κλπ., καθὼς ἐπίσης τὰ νέφη καὶ τὰ στερεὰ αἰωρήματα ποὺ βρίσκονται ὑπὸ μορφή κόνεως μέσα στὴν ἀτμόσφαιρα. Ἡ κάθε μιὰ ἀπὸ τίς οὐσίες αὐτὲς ἐπηρεάζει μὲ διαφορετικὸ μηχανισμό καὶ ἔνταση τὴ διέλευση τῆς ἡλιακῆς ἀκτινοβολίας καὶ ὑπαισέρχεται στὴ διαμόρφωση μιᾶς καταστάσεως θερμικῆς ἰσορροπίας ποὺ καθορίζει τὴ θερμοκρασία στὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς. Ἔτσι, ἡ θερμοκρασία αὕτῃ εἶναι τὸ ἀποτέλεσμα πολυμῶρων διεργασιῶν ὅπως αὐτὲς ποὺ δίδονται σχηματικὰ καὶ ἐκφράζονται ποσοτικὰ στὸ παρατιθέμενο διάγραμμα τῶν McCracken καὶ Luther (Σχ. 2).

Μὲ τὸ διάγραμμα αὐτὸ προβάλλεται ἡ μεγάλη σημασία τῆς παρουσίας νεφῶν, ὕδρατμῶν καὶ διοξειδίου τοῦ ἀνθρακικοῦ στὴν ἀτμόσφαιρα. Ὅλες αὐτὲς οἱ οὐσίες παρεμβαίνουν ἐνεργὰ στὴν ἀπορρόφηση τῆς ὑπὸ τῆς Γῆς ἐκπεμπομένης θερμότητος

και εμποδίζουν τη διάχυσή της στο διάστημα. Προέχουσα δε θέση μεταξύ των κατέχει το διοξείδιο του άνθρακα, προϊόν οξειδώσεως του στοιχείου τούτου. Θα πρέπει επομένως να διερευνηθεί μετά προσοχής ή προέλευση, ή κατανομή καθώς και οι τυχόν διαταραχές που αφορούν την παρουσία του άνθρακα στον παρά την επιφάνεια της Γης χώρο.

* * *

Το διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται στην ατμόσφαιρα της Γης σε χαμηλές, υπό κανονικές συνθήκες (0,03%), συγκεντρώσεις. Είναι διαλυτό στο ύδωρ ($\sim 0,17$ g εις 100 g H_2O στη θερμοκρασία $20^\circ C$) και μεταφέρεται διά διαλύσεως στους ωκεανούς, όπου αντιδρώντας μετά του Ca και Mg κατακρημνίζεται υπό μορφή ανθρακικών ιζημάτων. Τεράστιες ποσότητες άνθρακα έχουν συσσωρευθεί με την παρα-

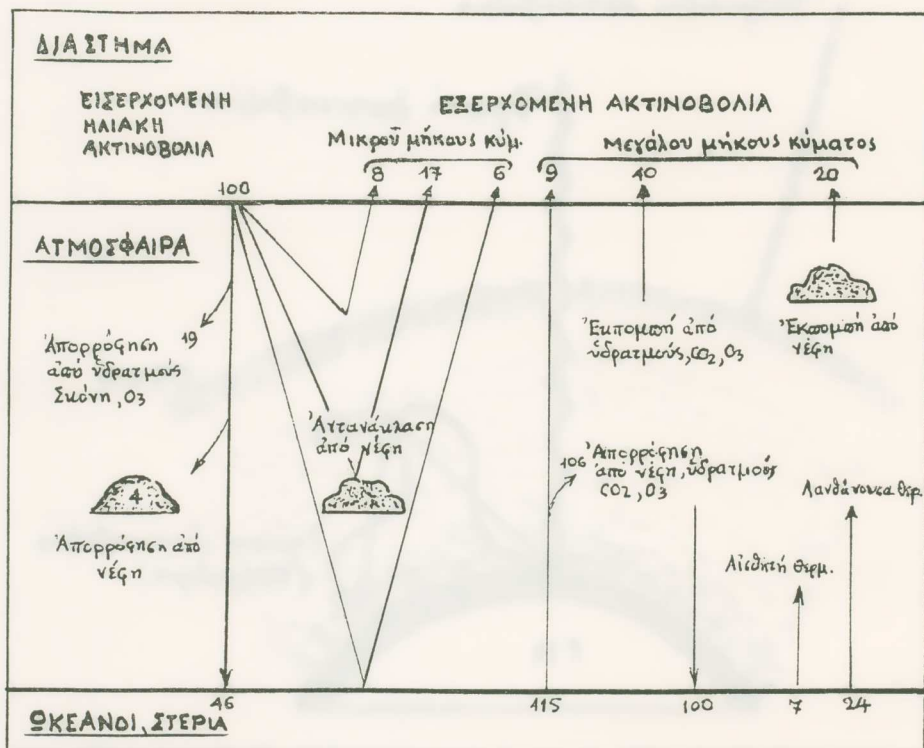


Σχ. 1. Το O_3 εμποδίζει την μικρού κύματος ακτινοβολία. Το O_3 και το CO_2 αφήνουν να περάσει ή όρατη ακτινοβολία του Ήλιου (μ.κ. 0,5 μ.). Το CO_2 εμποδίζει την μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία της Γης (υπέρυθρη).

πάνω διαδικασία. Έκτιμάται ότι το ποσό του άνθρακα εις τὸν παρὰ τὴν ἐπιφάνειαν τῆς Γῆς χῶρο ὑπερβαίνει τὰ 20 kg ἀνὰ τετρ. ἐκ. τῆς ἐπιφανείας αὐτῆς. Ἐκ τούτων 0,12 g/cm² καὶ 7,8 g/cm² βρίσκονται στὴν ἀτμόσφαιρα καὶ τοὺς ὠκεανούς ἀντιστοίχως (Ἐπιφάνεια τῆς Γῆς: $5.1 \cdot 10^{18}$ cm²).

Ἐδῶ γεννᾶται μιὰ σειρὰ ἐρωτημάτων: ἀπὸ ποῦ προέρχεται ὅλος αὐτός ὁ ἄνθρακας; καὶ ἐὰν δεχθῶμεν ὅτι ἐκπηγάζει ἀπὸ τὰ βάθη τῆς Γῆς, πῶς καὶ ὑπὸ ποίαν μορφή ἐκβάλλεται πρὸς τὴν ἐπιφάνειά της; Ἰκανοποιητικὴ ἀπάντηση στὰ ἐρωτήματα αὐτὰ δίδουν πρόσφατες διαστημικὲς παρατηρήσεις ἐν συνδυασμῷ μὲ διάφορα ἄλλα γεωλογικὰ στοιχεῖα ποὺ συνοψίζονται ἀμέσως παρακάτω:

Ὁ ἄνθρακας ἀφθονεῖ στὸ ἥλιακὸ μίγμα ὅπου κατέχει, ἀπὸ ἀπόψεως ποσότητος, τὴν τετάρτη θέση μετὰ τὸ ὕδρογόνο, τὸ ἥλιο καὶ τὸ ὀξυγόνο. Ἡ παρουσία του στοὺς πλανῆτες τοῦ ἥλιακοῦ συστήματος ἐπηρεάζεται ἀπὸ τὴν ἀπόσταση αὐτῶν ἀπὸ τὸν Ἥλιο. Εἶναι ἀφθονότερος στοὺς ἐξωτερικοὺς πλανῆτες, ὅπου εὐρίσκεται στὴν ἀτμόσφαιρά των ὑπὸ μορφή κυρίως ὕδρογονανθράκων, ἐνῶ ἀντιθέτως στὶς ἀτμόσφαιρες



Σχ. 2. Ἴσοζύγιον θερμότητος τῆς γηίνης ἀτμόσφαιρας (%) - κατὰ McCracken καὶ Luther, 1985.

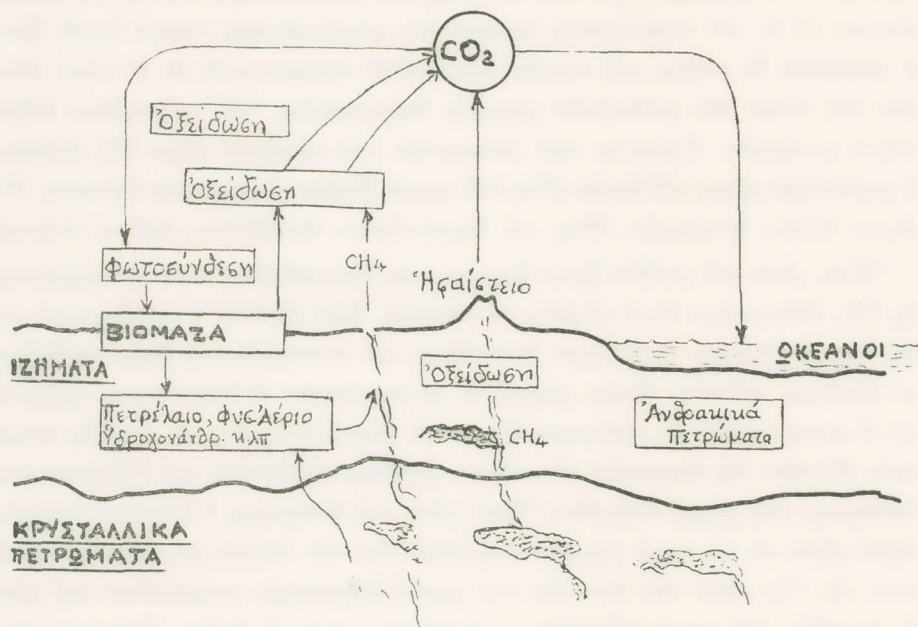
της Γῆς καὶ τῶν ἐσωτερικῶν πλανητῶν ἀπαντᾷ ὑπὸ μορφὴ CO_2 , εἶναι δηλαδή ὀξειδωμένος.

Οἱ ἀντιλήψεις περὶ τοῦ τρόπου σχηματισμοῦ τῆς Γῆς ἔχουν τελείως ἀναθεωρηθεῖ κατὰ τὰ τελευταῖα χρόνια. Μὲ βάση τὶς παρατηρήσεις ἐπὶ τῶν μετεωριτῶν, οἱ ὁποῖοι θεωροῦνται ὅτι ἀντιπροσωπεύουν συντρίμματα ποῦ ξέφυγαν καὶ παρέμειναν ἔξω ἀπὸ τοὺς πλανῆτες κατὰ τὴν πορεία τοῦ σχηματισμοῦ των, ἡ Γῆ φέρεται νὰ προέκυψε ἀπὸ συσσώρευση ἀναλόγων στερεῶν σωμάτων, τὰ ὁποῖα ἀναπτύχθηκαν διὰ συμπυκνώσεως μέσα σὲ ἓνα προοδευτικὰ ψυχόμενο νεφέλωμα, ποῦ ἀποσπᾶσθηκε ἀπὸ τὸν ἥλιο. Ὁ σχηματισμὸς ἄρχισε μὲ τὴ συσσώματωση μεταλλικῶν συμπυκνωμάτων, ὥπως αὐτὰ ποῦ ἀντιπροσωπεύονται ἀπὸ τοὺς μετεωρίτες ὑψηλῆς θερμοκρασίας. Δημιουργήθηκε ἔτσι ἓνας ἀρχικὸς πυρήνας περὶ τὸ ὁποῖο συσσωρεύονταν τὰ ἐκ τοῦ νεφελώματος προερχόμενα μεταγενέστερα στερεὰ ὕλικά. Κατὰ τὰ τελευταῖα δὲ στάδια τοῦ προοδευτικοῦ αὐτοῦ σχηματισμοῦ τὰ ἐν λόγω ὕλικά ἦσαν τοῦ τύπου τῶν μετεωριτῶν χαμηλῆς θερμοκρασίας, τῶν καλουμένων ἀνθρακούχων χονδριτῶν. Πρόκειται περὶ μετεωριτῶν ποῦ περιέχουν μέχρι 5% ἀνθρακα, τὸ μεγαλύτερο μέρος τοῦ ὁποῖο εἶναι ὑπὸ μορφὴ βαρέων ἀρωματικῶν ἐνώσεων. Περιέχουν ἐπίσης δεσμευμένο ὕδωρ καὶ θερμαινόμενοι ἀποβάλλουν ἀφθονα πτητικά.

Ἔτσι, μέσα στὸ μανδύα ἔχουν ἀνομοιογενῶς ἐγκλωβισθεῖ, κατὰ τὸ σχηματισμὸ τῆς Γῆς, ἀνθρακοῦχα ὕλικά πλούσια σὲ πτητικά. Ἐκεῖ δὲ ὅπου ἡ συγκέντρωσή των εἶναι ὑψηλή, ὑπάρχει δυνατότητα ἀναπτύξεως καὶ συσσωρεύσεως ὕδρογονανθράκων καὶ ἰδιαίτερα μεθανίου. Τοῦτο μπορεῖ νὰ μεταναστεύσει σὲ ὑψηλότερους ὀρίζοντες καὶ νὰ συγκεντρωθεῖ εἰς πρόσφορες θέσεις τοῦ φλοιοῦ ὥπως π.χ. τὰ πορώδη πετρώματα. Πλησίον τῆς ἐπιφανείας τὸ μεθάνιον βεβαίως ὀξειδώνεται καὶ ἐξέρχεται στὴν ἀτμόσφαιρα ὑπὸ μορφὴ διοξειδίου. Ἐκεῖ, μέσα στὴ βιοσφαῖρα, ὁ ἀνθρακας λαμβάνει ἐνεργὸ μέρος σὲ μιὰ σειρὰ χημικῶν διεργασιῶν διὰ τῶν ὁποίων μεταφέρεται εἰς τὸν φλοιὸ τῆς Γῆς μέσω τῶν ὠκεανῶν ὑπὸ μορφὴ ἀνθρακικῶν πετρωμάτων καὶ μέσω τῆς βιομάζης ὑπὸ μορφὴ λιθανθράκων, πετρελαίου, φυσικοῦ αερίου. Ὑφίσταται ἐπομένως ἓνας σαφὴς γεωχημικὸς κύκλος ἀνθρακα, ὁ ὁποῖος ἐκφράζεται διὰ τοῦ διαγράμματος τοῦ Σχ. 3 καὶ ρυθμίζει τὴ συγκέντρωση τοῦ CO_2 στὴ γῆνιν ἀτμόσφαιρα.

Υπάρχουν πολλὲς ἄμεσες καὶ ἀναμφισβήτητες ἐνδείξεις ἐκροῆς διοξειδίου τοῦ ἀνθρακα πρὸς τὴν ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς, ἐκροῆς ποῦ ἐκπηγάζει ἀπὸ τὰ βάθη αὐτῆς. Ἡ ἐν λόγω ἐκροὴ μπορεῖ νὰ εἶναι συνεχῆς καὶ ἡπιοτάτης μορφῆς. Αὐτὸ συμβαίνει συνήθως πάνω ἀπὸ κοιτάσματα αερίου ἢ πετρελαίου. Ἡ ἀνίχνευσή της δύναται δὲ νὰ χρησιμοποιηθεῖ γιὰ ἀναζήτηση καὶ ἐντοπισμὸ τέτοιων κοιτασμάτων. Μπορεῖ ὅμως νὰ εἶναι περιστασιακὴ καὶ βιαίης μορφῆς, ὥπως στὶς ἡφαιστειακὰς ἐκρήξεις. Καὶ στὶς δύο περιπτώσεις εἶναι ἀστάθμητη, φαίνεται πάντως ἐξαιρετικὰ ὀγκώδης.

Ἄμεση ἔνδειξη γιὰ ὀγκώδεις ἐκροές ἥπιας μορφῆς ἀποτελοῦν οἱ κολοσσιαῖες ποσότητες ἐνύδρου μεθανίου ποῦ ἔχουν ἐσχάτως ἐντοπισθεῖ στὴ Σιβηρία, τὸ Βόρειο Καναδᾶ, τὴν Ἀλάσκα κλπ., κάτω ἀπὸ τὸ μονίμως παγωμένο κάλυμμα ἐδάφους, τὸ λεγόμενο permafrost, ὅπου παρεμποδίζεται ἡ ὀξείδωση τοῦ μεθανίου καὶ ἡ μετατροπὴ του σὲ CO_2 . Ἄμεση ἔνδειξη γιὰ ἀσυνεχεῖς ἀλλ' ἐπίσης ὀγκώδεις ἐκροές παρέχουν οἱ ἡφαιστειακὲς ἐκρήξεις. Ἀρκεῖ νὰ ἀναφερθεῖ ὅτι ὑπάρχουν σήμερα περὶ τὰ 540 ἱστορικῶς ἐνεργὰ ἡφαιστεια, τὸ 75% τῶν ὁποίων εὐρίσκεται στὸν περίγυρο τοῦ Εἰρηνικοῦ Ὠκεανοῦ, τὸ γνωστὸ ὡς Fire rim. Οἱ τρομακτικὲς ἐκρήξεις τῶν ἡφαιστείων Krakatau (1883), Tambora (1815) θὰ μείνουν ἀλησμόνητες γιὰ τὴ βιαιότητά τους.



Σχ. 3. Σχηματική παράσταση τοῦ γεωχημικοῦ κύκλου τοῦ ἀνθρακα.

Ἐκτιμᾶται ὅτι κατὰ τὴν ἐκρήξιν τοῦ τελευταίου ἐκτοξεύθηκαν 180 km τέφρα, δηλαδή ὄγκος ὑπέρτερος ἀπὸ ἐκεῖνο ποῦ ἡ ἀνθρώπινη δραστηριότητα μεταλλευτικὴ ἢ ἄλλη ἔχει μέχρι σήμερα ἐκσκάψει. Κατὰ τὴν ἐκρήξιν αὐτὴ οἱ κλιματολογικὲς συνθήκες ἐπηρεάσθησαν ἔντονα, ἡ θερμοκρασία ἔπεσε σημαντικά. Τὸ ἔτος 1816 ὀνομάσθηκε «ἔτος χωρὶς καλοκαίρι». Ἀξίζει ἐπίσης νὰ ὑπομνησθεῖ ἡ ἔκλυση CO_2 στὴ λίμνη Nyos τοῦ Cameroun (1986) καθὼς καὶ ἡ πρόσφατη ἐκρήξιν τοῦ ἡφαιστείου Pinatuba στὶς Φιλιππίνες νήσους.

* * *

Τὰ ὅσα μέχρι τώρα ἐξετέθησαν δίδουν μιὰ ἀρκετὰ προσεγγιστικὴ εἰκόνα τῆς καταστάσεως ποὺ ἐπικρατεῖ σὲ ὅ,τι ἀφορᾷ τὴν παρουσία τοῦ CO₂ μέσα στὴν ἀτμόσφαιρα. Δίδουν ἐπίσης μιὰ ἀρκετὰ σαφὴ ἰδέα τῆς ἐκτάσεως καὶ ἐντάσεως τῶν διαταραχῶν ποὺ ὑφίσταται ἡ κατάσταση αὐτὴ ἀπὸ ἐνδογενεῖς παράγοντες ἐκτὸς κάθε ἐλέγχου. Σ' αὐτὲς θὰ πρέπει νὰ προστεθοῦν οἱ σημαντικὲς, ἀστάθμητες ἐπίσης διαταραχές, ποὺ ὀφείλονται σὲ ἐξωγενεῖς αἰτίες. Ἀναφέρομαι στὶς πυρκαϊὲς ποὺ καταστρέφουν κάθε χρόνο τεράστιες ἐκτάσεις δασῶν, ἐκπέμποντας μεγάλες ποσότητες CO₂, ἐνῶ ταυτόχρονα μειώνουν τὴν διὰ φωτοσυνθέσεως μεταφορὰ τοῦτου στὴ βιομάζα. Σύμφωνα δὲ μὲ στοιχεῖα τοῦ World Watch Institute, 200 ἑκατ. ἐκτ. δασῶν κατεστράφησαν μεταξὺ 1972 καὶ 1990.

Ἡ ἱστορία τῆς ζωῆς τοῦ Ἀνθρώπου ἐπὶ τῆς Γῆς φαίνεται νὰ μαρτυρεῖ ὅτι ὁ Γεωχημικὸς κύκλος τοῦ ἀνθράκα, ὁ ὁποῖος ρυθμίζει τὴν ὑπὸ μορφὴ CO₂ παρουσία τοῦτου στὴν ἀτμόσφαιρα τοῦ πλανήτη μας λειτουργεῖ ἀποτελεσματικὰ καὶ μὲ σημαντικὰ περιθώρια ἀσφαλείας. Κατὰ τὰ τελευταῖα 50.000 τουλάχιστο χρόνια ὁ Ἀνθρώπος ζεῖ, χωρὶς ἰδιαίτερα προβλήματα, στὴν ἐπιφάνεια τοῦ πλανήτη αὐτοῦ, στὴν ἀτμόσφαιρα τοῦ ὁποῖου ἡ περιεκτικότητά τοῦ CO₂ διαταράσσεται ἀπὸ τρομερὲς ἡφαιστειακὲς ἐκρήξεις, τεράστιες πυρκαϊὲς δασῶν καὶ τόσες ἄλλες δευτερευούσης σημασίας αἰτίες.

Καὶ τώρα, στὴν ἐποχὴ μας ἔρχεται νὰ προστεθεῖ, μιὰ νέα σοβαρὴ διαταραχὴ ποὺ συνδέεται μὲ τὴ βιομηχανικὴ δραστηριότητα. Πρόκειται γιὰ τὴ διαταραχὴ ποὺ προκαλοῦν τὰ προϊόντα καύσεως μεγάλων ποσοτήτων ὀρυκτῶν καυσίμων πρὸς κάλυψη τῶν ἐνεργειακῶν κυρίως ἀναγκῶν τῆς δραστηριότητάς αὐτῆς. Ἡ ἐτήσια παραγωγή τῶν ἐν λόγω καυσίμων ἔφθασε ἐπὶ τῶν ἡμερῶν μας εἰς περίπου 1,2 δισ. τ. λιγνίτη, 3,5 δισ. τ. λιθάνθρακα, 3 δισ. τ. πετρέλαιο, 68 τρισ. κ.π. φυσικοῦ αερίου καὶ βαίνει προοδευτικῶς αὐξανομένη. Ὅμως ἐπὶ τῆς ἀύξητικῆς αὐτῆς τάσεως ἄρχισε ἤδη νὰ ἐπιδρᾷ ἀνασταλτικὰ ἡ ταχέως ἐξελισσομένη παραγωγή πυρηνοληκτρικῆς ἐνεργείας. Μὲ τὴν παραδοχὴ ὅτι ἡ συμβολὴ τῆς τελευταίας στὴν κάλυψη τῶν ἐνεργειακῶν ἀναγκῶν θὰ φθάσει τὸ 25% τοῦ συνόλου, ἐκτιμᾶται ὅτι οἱ ἐκπομπὲς CO₂ ἀπὸ τὴ χρῆσιν ὀρυκτῶν καυσίμων θὰ εἶναι περὶ τὸ 2000 τῆς τάξεως τῶν 7 ἕως 8 δισ. τόννων ἐτησίως.

* * *

Τίθεται λοιπὸν τὸ ἐρώτημα: εἶναι ἡ ρυθμιστικὴ δυνατότητα τοῦ γεωχημικοῦ κύκλου τοῦ ἀνθράκα ἱκανὴ γιὰ νὰ καλύψει πέραν τῶν φυσικῶν καὶ τίς πρόσθετες αὐτὲς ἐκροὲς CO₂ ποὺ προσέρχονται ἀπὸ τὴ βιομηχανία;

Ἐπὶ πολλὰ τουλάχιστο χρόνια πρόβλημα δὲν φαίνεται νὰ ὑπάρχει, ἀφοῦ διὰ τῆς ὁδοῦ τῆς φωτοσυνθέσεως καὶ μόνο, ἡ δυνατότητα αὐτῇ ἐκτιμᾶται ὅτι ὑπερβαίνει τὰ 400 δις. τόννους CO_2 ἑτησίως. Πάντως, καὶ σὲ περίπτωση ἐμφανίσεως κάποιας προσκαίρου ἀνεπαρκείας, ποὺ μπορεῖ π.χ. νὰ προκληθεῖ ἀπὸ μιὰ μεγάλη ἔκρηξη ἡφαιστείου, παρεμβαίνει μιὰ συμπληρωματικὴ διεργασία ρυθμίσεως ποὺ συνδέεται μὲ τὴν παρουσία τῶν νεφῶν καὶ τῶν ὑδρατμῶν.

Πράγματι, τυχὸν αὐξήση τῆς συγκεντρώσεως τοῦ CO_2 καὶ ἐκεῖθεν τῆς θερμοκρασίας, προκαλεῖ διὰ τῆς ὁδοῦ τῆς ἐξατμίσεως αὐξήση τῶν ὑδρατμῶν καὶ τῶν νεφῶν. Ὅπως δὲ φαίνεται στὸ διάγραμμα τοῦ Σχ. 2, οἱ ὑδρατμοὶ καὶ τὰ νέφη ἐνισχύουν τὴν ἀπορρόφηση καὶ τὴν ἀντανάκλαση τῶν ἀκτινοβολιῶν ποὺ ἐκπέμπονται ἀπὸ τὸν ἥλιο. Ὑπάρχει ἐπομένως, ἓνα δεῦτερο στάδιο αὐτορυθμίσεως, διὰ τοῦ ὁποίου τείνει νὰ ἐξουδετερωθεῖ κάθε τάση ἀνόδου τῆς θερμοκρασίας.

Ἐτσι, ὁδηγούμεθα στὸ συμπέρασμα ὅτι οἱ ἐκροές CO_2 ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὴν βιομηχανικὴ δραστηριότητα δὲν συνιστοῦν ἄμεσο κίνδυνο ἀνατροπῆς τῶν κλιματολογικῶν συνθηκῶν ἐπὶ πολλὰ τουλάχιστο χρόνια. Ἀναμφισβήτητα, οἱ ἐκροές αὐτὲς ἔφθασαν ἤδη σὲ ἐντυπωσιακὰ ὕψη καὶ θὰ πρέπει νὰ ἀνακοπεῖ τὸ ταχύτερο δυνατὸ ἡ αὐξητικὴ ἐξέλιξή των. Ἀλλὰ τοῦτο ἄρχισε ἤδη μὲ τὴν ἀλματώδη αὐξήση τῆς παραγωγῆς πυρηνοηλεκτρικῆς ἐνεργείας ποὺ θὰ περιορίσει δραματικὰ τὴν ἐξάρτηση τῆς βιομηχανίας ἀπὸ τὴ χρήση ἀνθρακούχων ὀρυκτῶν καυσίμων. Λειτουργοῦν ἤδη 428 πυρηνικοὶ ἀντιδραστήρες καὶ εὐρίσκονται ὑπὸ κατασκευὴν 113 μὲ ἰσχύ 309.333 MW καὶ 92.553 MW ἀντιστοίχως. Σὲ προηγμένες δὲ χῶρες ὅπως π.χ. ἡ Γαλλία πέραν τοῦ 70% τῆς παραγομένης ἡλεκτρικῆς ἐνεργείας προέρχεται ἀπὸ πυρηνικοὺς σταθμούς.

Ἐδῶ θὰ πρέπει ὅμως νὰ παρατηρηθεῖ ὅτι ἡ χρήση ὀρυκτῶν καυσίμων συνεπάγεται ἐκτὸς ἀπὸ τὶς ὀγκώδεις ἐκπομπὲς διοξειδίου τοῦ ἀνθράκα καὶ σημαντικὲς ἐκπομπὲς διοξειδίου τοῦ θείου. Μὲ τὴν παρουσία δὲ τοῦ τελευταίου τούτου συνδέεται ἡ ὀξίνη βρογχὴ ποὺ προκαλεῖ τεράστιες καταστροφὲς στὰ δάση καὶ ἔμμεσα εὐνοεῖ τὴν ἀνάπτυξη συνθηκῶν θερμοκηπίου, ἀφοῦ μὲ τὶς καταστροφὲς αὐτὲς μειώνεται ἡ ρυθμιστικὴ ικανότητα τοῦ γεωχημικοῦ κύκλου.

Ἡ βιομηχανικὴ λοιπὸν δραστηριότητα εἶναι ἀναμφισβήτητα σημαντικὴ πηγὴ ἐκπομπῶν CO_2 καὶ SO_2 ποὺ ἐπηρεάζουν δυσμενῶς τὸ πρόβλημα τοῦ θερμοκηπίου. Προέλευση τῶν πρώτων εἶναι κυρίως ἡ χρήση ἀνθρακούχων ὀρυκτῶν καυσίμων γιὰ παραγωγὴ ἡλεκτρικῆς ἐνεργείας, ἡ ὁποία ὅμως χρήση βαίνει φθίνουσα. Σοβαρὸς κίνδυνος ἐπηρεασμοῦ τῆς θερμοκρασιακῆς καταστάσεως ἀπὸ τὶς ἐκπομπὲς CO_2 δὲν φαίνεται νὰ ὑπάρχει, τοσοῦτο μᾶλλον ὅσο ὑφίστανται φυσικοὶ μηχανισμοὶ ρυθμίσεως μέσω τοῦ γεωχημικοῦ κύκλου τοῦ ἀνθράκα. Εἶναι δὲ ἡ ρυθμιστικὴ ικανότητα τοῦ

έν λόγω κύκλου πολύ υπερτέρα της απαιτούμενης για να καλύψει τις βιομηχανικές εκπομπές CO_2 . Αντιθέτως, οι εκπομπές SO_2 συνιστούν πολύ σοβαρότερο κίνδυνο από εκείνες του CO_2 . Έχουν ως κυρία προέλευση την ταχέως αναπτυσσόμενη μεταλλουργία των θειούχων μεταλλευμάτων. Το SO_2 της ατμοσφαιράς μεταφέρεται, ως ήδη ανέφερεται στην επιφάνεια της Γης υπό μορφή όξινης βροχής, ή οποία καταστρέφει, εκτός άλλων, τα δάση και επηρεάζει διά του τρόπου τούτου τη ρυθμιστική ικανότητα του γεωχημικού κύκλου του άνθρακα και κατά συνέπεια το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επί των βιομηχανικών εκπομπών του SO_2 θα πρέπει πρωτίστως να επικεντρωθεί η προσοχή των αρμοδίων.

S U M M A R Y

The greenhouse phenomenon examined under the light of geological criteria.

There is strong anxiety about a continuous increasing concentration of CO_2 in the Earth's atmosphere due to human activities. This may result in an increase of the mean temperature of the Earth with disastrous consequences.

In the present work the enormous accumulation of carbon on and close to the surface of the Earth is noted and discussed. The impressive excess of this element is attributed to an outflow from the interior of the Earth, reaching the atmosphere in the form of CO_2 . There, a geochemical cycle of carbon is operating to bring back this element through the biomass process on one hand and a dissolution-precipitation process on the other hand as clearly indicated on Fig. 3.

Substantial direct and indirect indications provide evidence that the said outflow although variable and unmeasured is very important. However, the capacity of the geochemical cycle of the carbon through which is regulated the concentration of the CO_2 in the atmosphere appears to be such as to deal easily with this variable and important outflow resulting in a relative stability of the Earth's mean temperature.

The quantities of CO_2 outpoured into the Earth's atmosphere by the industrial activity as calculated and discussed here seem relatively small and unable to bring about serious disturbances affecting the above stability.