

ΙΣΤΟΡΙΑ, ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΠΟΛΥΤΩΝ ΟΡΙΩΝ. ΠΡΟΣΦΑΤΕΣ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ*

Μ. Δ. Δερμιτζάκης¹

¹Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Ιστορικής Γεωλογίας-Παλαιοντολογίας, Πανεπιστημιόπολη Ζωγράφου, mdermis@geol.uoa.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία 150 χρόνια, τα όρια των αποκαλούμενων “τυπικών” γεωχρονολογικών/χρονοστρωματογραφικών ενοτήτων καθορίζονταν από τους διάφορους ερευνητές της γεωλογίας με γεωιστορικά συμβάντα και ποικίλους τρόπους. Αυτή η έλλειψη τυποποίησης κατέστησε ουσιαστικά αδύνατο τον συσχετισμό σε παγκόσμια κλίμακα.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η πρόοδος στις τεχνικές πεδίου και εργαστηρίων, στις μελέτες των ραδιενεργών και σταθερών ισοτόπων, η βελτιωμένη αξιολόγηση των απολιθωμένων αρχείων, η αξιολόγηση παλαιομαγνητικών δεδομένων και η εφαρμογή της κυκλοστρωματογραφίας, βελτίωσαν την ποιότητα των δεδομένων και συνέβαλαν πολύ στον ακριβή καθορισμό της Διεθνούς Χρονοστρωματογραφικής Κλίμακας, εισάγοντας νέες υποδιαιρέσεις και καθορίζοντας τα όρια των γεωλογικών περιόδων. Συνθέτοντας τις σημαντικότερες συνεισφορές που προκύπτουν από αυτές τις νέες προσεγγίσεις κατά τη συνεδρίαση της Διεθνούς Ενώσεως Στρωματογραφίας, το 2004, 38 ειδικοί, υπό την προεδρία του F.M. Gradstein, από το Πανεπιστήμιο του Όσλο, συζήτησαν τις αναθεωρήσεις που προκύπτουν από τα νέα στοιχεία και προέβησαν στην πιο πρόσφατη έκδοση της Γεωλογικής Κλίμακας 2004.

Στην αναθεωρημένη Γεωλογική Κλίμακα, επιλέχθηκαν ανάμεσα στις πολλές μεθόδους που υπάρχουν, για την συγκρότησή της, αυτές που παρέχουν τις πιο αξιόπιστες πληροφορίες. Η τελευταία Γεωλογική Κλίμακα, η οποία ενσωματώνει σημαντικές αλλαγές, βασίζεται στην εφαρμογή της έννοιας του Παγκόσμιου Στρωματότυπου και Απόλυτου Ορίου. Σχεδόν πενήντα Παγκόσμιοι Στρωματότυποι με Απόλυτα Όρια έχουν εγκριθεί μέχρι σήμερα.

Αν και έχουν γίνει τεράστιες προσπάθειες για τη δημιουργία μιας πιο πλήρους Γεωλογικής Κλίμακας, χρειάζεται ιδιαίτερη επιμονή για την υποστήριξη μιας ιδανικής κλίμακας, που θα έχει τη συναίνεση ολόκληρης της Γεωλογικής Κοινότητας.

*HISTORY, PHILOSOPHY AND APPLICATION OF GLOBAL BOUNDARY STRATOTYPE SECTIONS AND POINTS. NEW REVISIONS OF GEOLOGICAL TIME SCALE

M. D. Dermitzakis

National & Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Department of Historical Geology-Paleontology, Panepistimiopolis Zografou, Greece

ABSTRACT

In the last 150 years, the limits of the so called "formal" geochronological/ chronostratigraphical units were determined by several rock researchers using geohistorical events in several ways. The lack of standardisation made them useless for a global scale correlation.

During the last two decades, the development of the field and laboratories techniques, the studies of radiogenic and stable isotopes, the improved evaluation of fossil files, the evaluation of paleomagnetic data and the application of cyclostratigraphy, improved the quality of data and contributed to the creation of the most up-to-date International Chronostratigraphic Scale, including new subdivisions and determination of the boundaries of geological periods. The compiled New Geological Time Scale GTS 2004 integrates the most recent results of these new methods and was constructed by the International Union of Stratigraphy (ICS), in 2004, presiding F.M. Gradstein, from the University of Oslo, along with 38 other specialists.

The new revised Geological Scale encompasses selected new methods that provide the most reliable information. The last Geological Time Scale incorporates important changes and is based on the application of the Global boundary Stratotype Section and Point (GSSP). Almost 50 GSSP have been defined up to now.

Despite the enormous efforts for the construction of the most complete Geological Time Scale, a modified version needs the support and consent of the entire geological science community.

1. Εισαγωγή

Η υποδιαίρεση των 4,5 δισεκατομμυρίων ετών της Γεωλογικής Ιστορίας της Γης, σε σχετικά χρονικά διαστήματα που να παρουσιάζουν παγκόσμια δυνατότητα αναφοράς ή συσχετισμού, παραμένει σε εκκρεμότητα από την εποχή των πρώτων γεωλόγων, όπως του James Hutton (1795) και του Charles Lyell (1800) (πρβλ. Δερμιτζάκης & Λέκκας, 1982) Σημαντικός αριθμός μεθόδων που αποσκοπούν στη δημιουργία «μονάδων» μετρήσεως του γεωλογικού χρόνου βρίσκεται ήδη στο αρχείο, ενώ ένας λαβύρινθος όρων χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό ενός συγκεκριμένου γεωλογικού διαστήματος. Άλλοι από αυτούς τους όρους βασίζονται στις ακολουθίες πετρωμάτων ή τη στρωματογραφία (π.χ. Αιωνοδιάπλαση, σύστημα, σειρά, βαθμίδα), και άλλοι στη χρονική διάρκεια που έλαβαν χώρα σημαντικά γεγονότα (π.χ. Αιώνας, περι-

οδοι, εποχές, ηλικία). (πρβλ. Δερμιτζάκης, 1975) Συχνότερα, οι περίοδοι, οι εποχές και οι ηλικίες, αόριστα καθορίζονται ως οι περίοδοι της υπάρξεως πανίδων και χλωρίδων, των οποίων τα απολιθώματα εμπεριέχονταν στις τυπικές ακολουθίες των συστημάτων, σειρών και βαθμίδων.

Επιπλέον, διφορούμενα προθέματα (προσδιορισμοί) όπως Κατώτερο, Μέσο, Ανώτερο, χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του Γεωλογικού Χρόνου. Παρόλα αυτά, οι υποδιαίρεσεις που χαρακτηρίζουν τα διάφορα στάδια στην ιστορία της Γης παραμένουν ανεπαρκείς. Το σχετικά μικρό χρονικό διάστημα π.χ., του Φανεροζωικού Μεγααιώνα, το οποίο καλύπτει τα τελευταία 570 εκατομμύρια έτη, διαιρείται «εύκολα» σε 3 κύρια τμήματα και σε 16 μικρότερα εξαιτίας των άφθονων παλαιοντολογικών δεδομένων που έχουμε στη διάθεσή μας. Αντίθετα, το απέραντο

Προκάμβριο, το οποίο έχει διάρκεια σχεδόν 4 δισεκατομμυρίων ετών, διαιρείται σε τρία σημαντικά τμήματα – τον Καταρχαιοζωϊκό, τον Προτεροζωϊκό και τον Αρχαϊκό Μεγααιώνα, και παραμένει εκπληκτικά ελλιπές ακόμα και σήμερα. Τα αρχικά συστήματα, σειρές και βαθμίδες αποτελούν γενικά αυτό που καλούμε σήμερα «λιθοστρωματογραφικές ενότητες» και όχι «χρονο-στρωματογραφικές ενότητες» υπό τη σύγχρονη έννοια. Πράγματι, τα κύρια λιθολογικά χαρακτηριστικά περιθωριακών θαλάσσιων φάσεων χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό από τους ιστορικούς στρωματοτύπους, ως συστήματα, σειρές και βαθμίδες. Το πρόβλημά τους, όμως, ήταν ότι τα όριά τους συχνά ορίζονταν από στρωματογραφικά κενά.

Στο πλαίσιο της γενικής προσεγγίσεως της αντιλήψεως των χρονικών ενότητων, δημιουργήθηκαν αναπόφευκτα στρωματογραφικά κενά και επικαλύψεις μεταξύ των διαδοχικών ενότητων, επειδή οι αρχικές τυπικές τομές ή τα πετρώματα συνολικά προσδιορίζονταν απαραίτητως σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και ήταν ουσιαστικά αδύνατο τα ανάλογα χρονικά διαστήματα (ή οι χρόνοι της ύπαρξεως των περιλαμβανόμενων πανίδων τους) να συσχετίζονται πλήρως.

Προκειμένου να εξαιρεθούν αυτά τα κενά και οι επικαλύψεις, οι περίοδοι, οι εποχές και οι ηλικίες βαθμιαία αντιμετωπίστηκαν ως χρονικά διαστήματα, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε συγκεκριμένη τυπική τομή, και καθορίστηκαν εννοιολογικά από παλαιοβιολογικά γεγονότα που προέκυψαν κυρίως με τη βοήθεια της βιοστρωματογραφίας. Αυτές οι αποκαλούμενες “τυποποιημένες” βιοχρονολογικές ενότητες καθορίστηκαν βάσει κυρίως διαθέσιμων θαλάσσιων πελαγικών απολιθωμάτων (π.χ. γραπτόλιθοι για το Ορδοβίσιο,

αμμωνίτες για το Ιουρασικό κ.λπ.).

Εντούτοις, λόγω της απουσίας κάποιου έγκυρου διεθνούς σώματος Στρωματογραφίας, οι άκαρπες συζητήσεις για το αν αυτά τα συγκεκριμένα απολιθώματα γραπτόλιθων ή κωνόδοντων ή κεφαλόποδων κλπ. όντως καθόριζαν μια δεδομένη περίοδο, εποχή ή ηλικία, ήταν αναπόφευκτες. Επιπλέον, τα όρια που καθορίστηκαν από παλαιοβιολογικά γεγονότα ήταν εγγενώς ασταθή εξ αιτίας των ταξινομικών αλλαγών και των ανακαλύψεων νέων απολιθωμάτων, αλλά και της δυσκολίας να συσχετιστούν σε παγκόσμια κλίμακα, εξαιτίας του πανιδικού επαρχιωτισμού. Κατά συνέπεια, τα ονόματα των υποθετικά “τυποποιημένων” περιόδων, εποχών και ηλικιών χρησιμοποιήθηκαν με σημαντικά διαφορετικούς τρόπους από τους γεωλόγους σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Εξαιτίας αυτής της καταστάσεως που επικρατούσε, η δημιουργία ενός διεθνούς στρωματογραφικού κώδικα υπήρξε από την αρχή ο κύριος στόχος της Διεθνούς Υποεπιτροπής Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως (*International Subcommission on Stratigraphic Classification, ISSC*), η οποία δημιουργήθηκε το 1952 στο 19^ο Διεθνές Γεωλογικό Συνέδριο που είχε διοργανωθεί στο Αλγέρι. Οι πρώτες δημοσιεύσεις των βασικών αρχών της στρωματογραφικής ταξινομήσεως στα πλαίσια του Διεθνούς Κώδικα Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως (*International Guide for Stratigraphic Classification*) (Hedberg, 1965, 1976; Δερμιτζάκης, 1975) που πραγματοποιήθηκαν μετά τη σύσταση της επιτροπής ISSC με πρώτο πρόεδρο τον Hollis D. Hedberg (1952 έως 1977), επηρέασαν ιδιαίτερα την ανάπτυξη της σύγχρονης Στρωματογραφίας. Στην εισαγωγή του κώδικα αναφέρεται... «Σκοπό του κώδικα αποτελεί

η προώθηση της διεθνούς συμφωνίας αναφορικά με τις αρχές της στρωματογραφικής ταξινομήσεως και η ανάπτυξη μιας κοινής διεθνώς αποδεκτής στρωματογραφικής ορολογίας με κανόνες των στρωματογραφικών διαδικασιών»... και «Οι συστάσεις αυτής της πρώτης εκδόσεως βασίζονται στην τρέχουσα συναίνεση των μελών. Οι μελλοντικές εκδόσεις θα επιφέρουν αναμφισβήτητα αλλαγές που θα υπαγορεύονται από τις εφαρμογές και τη χρήση του κώδικα, αλλά και την ανάπτυξη των νέων απόψεων και μεθόδων».

Ο διάδοχος του Hedberg ο Amos Salvador, που προήδρευσε στην Διεθνή Υποεπιτροπή Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως από το 1977 ως το 1992, εξέδωσε τη δεύτερη έκδοση του Διεθνούς Στρωματογραφικού Κώδικα (*International Stratigraphic Guide, ISG*), ο οποίος ακολουθεί σε ένα μεγάλο τμήμα του την πρώτη έκδοση, με ελάχιστες αλλαγές και δύο σημαντικές προσθήκες, που αφορούν στην ομοιομορφία των ορίων στις στρωματογραφικές μονάδες και στην Μαγνητοστρωματογραφία. Περιελάμβανε επίσης ένα γλωσσάριο (Salvador, 1994). Ο διάδοχος του Salvador, M.A. Murphy, συνυπογράφει με τον προκάτοχό του μια σύντομη έκδοση του κώδικα, που δημοσιεύεται στο περιοδικό *Episodes* το 1999 (Murphy and Salvador, 1999). Ωστόσο, τα τελευταία είκοσι με τριάντα χρόνια, η εισαγωγή και η εφαρμογή νέων τεχνικών στους διάφορους κλάδους της Στρωματογραφίας, αλλά και η συνδυαστική επιστημονική προσέγγιση σε ένα τεράστιο σύνολο δεδομένων, από μακροπρόθεσμα και επιτυχή επιστημονικά προγράμματα, όπως τα Deep Sea Drilling Program (DSDP), Ocean Drilling Program (ODP), Integrated Ocean Drilling Program (IODP) (από το 1968 έχουν πραγματοποιηθεί 1257

εξερευνητικές γεωτρήσεις σε όλους τους ωκεανούς), είχαν ως αποτέλεσμα μία πρωτοφανή, ραγδαία ανάπτυξη της Στρωματογραφίας.

Το μέγεθος και το εύρος των νέων δεδομένων, τα οποία συνεχώς αυξάνονται σε πολυπλοκότητα και σημασία, και η συνδυαστική επιστημονική προσέγγιση των σύγχρονων μελετών υποχρεώνουν την επανεξέταση των βάσεων στις οποίες στηρίζεται η στρωματογραφική ταξινόμηση. Επομένως, σήμερα θεωρείται απαραίτητη η αναθεώρηση στους υπάρχοντες κώδικες, λαμβάνοντας υπόψη τις νέες ιδιαίτερες εξειδικευμένες και διαφορετικές επιμέρους μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της «Παγκόσμιας Τομής Στρωματοτύπου και Απόλυτου Ορίου» (GSSPs, *Global Stratotype Sections and Points*).

Μία σχετική σημαντική πρωτοβουλία ξεκίνησε στα πλαίσια του πρώτου Συμποσίου που διοργανώθηκε από την Διεθνή Υποεπιτροπή Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως (ISSC) κατά τη διάρκεια του 32ου Διεθνούς Γεωλογικού Συνεδρίου στη Φλωρεντία το 2004. Η πρωτοβουλία επικεντρώνεται στη δημιουργία διαφόρων επιστημονικών ομάδων εργασίας με απώτερο σκοπό τη δημοσίευση, υπό την αιγίδα της Διεθνούς Υποεπιτροπής Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως (ISSC), μίας σειράς άρθρων που τιτλοφορούνται **Νέες Εξελίξεις στη Στρωματογραφική Ταξινόμηση «New Developments in Stratigraphic Classification»**. Κάθε μία σειρά θα αφορά σε έναν επιμέρους κλάδο της στρωματογραφίας. Βασική αρχή αυτής της προσπάθειας αποτελεί η «ομαδική εργασία», σε εθελοντική βάση, χωρίς οποιαδήποτε οικονομική ενίσχυση.

Τα δύο πρώτα θέματα που επιλέχθηκαν είναι η Στρωματογραφία ακολουθι-

ών και η Κυκλοστρωματογραφία. Επι-κεφαλείς των ομάδων εργασίας είναι ο Ashton Embry (Geological Survey, Καναδάς), ένα «παλαιό» μέλος της ISSC με μεγάλη εμπειρία στη στρωματογραφία ακολουθιών και ο Andre Strasser, ένα «νέο» μέλος της υποεπιτροπής για την Κυκλοστρωματογραφία.

Κατά τη διαδικασία προετοιμασίας των άρθρων ο πρόεδρος λειτούργησε ως επιστημονικός συντονιστής και είχε την ευθύνη της τελικής αναθεώρησης. Μία προκαταρκτική περίληψη του μελλοντικού κειμένου διανεμήθη στην υποεπιτροπή. Σχόλια, προσθήκες και διορθώσεις προωθήθηκαν από την ομάδα εργασίας στους συγγραφείς για να ενσωματωθούν στο κυρίως κείμενο. Από ελληνικής πλευράς στην ομάδα εργασίας συμμετείχε ο γράφων Καθηγητής Μ. Δ. Δερμιτζάκης, ο οποίος πρότεινε την τροποποίηση του όρου *astrochronology* σε *astrogeochronology*, καθώς έτσι καθορίζεται σωστότερα η έννοια της αστρολογικής χρονολόγησης των γεωλογικών συμβάντων. Το πρώτο άρθρο με τίτλο Κυκλοστρωματογραφία - Έννοιες, Ορισμοί και Εφαρμογές «*Cyclostratigraphy – Concepts, Definitions and Applications*» με συγγραφείς τους Α. Strasser, F. Hilgen, και P H. Heckel έχει ήδη δημοσιευθεί στο έγκυρο διεθνές περιοδικό *Newsletters on Stratigraphy* (Strasser *et al.*, 2006). Η διαδικασία λειτούργησε πολύ καλά και θα αποτελέσει πρότυπο για την προετοιμασία των επόμενων άρθρων.

Σχόλια και προσθήκες στις ομάδες εργασίας Βιοστρωματογραφία - έννοιες και εφαρμογές και Χημειοστρωματογραφία - έννοιες και εφαρμογές έστειλαν οι: Hendrik de la Rey Winter, Ashton Embry, Michael D. Dermitzakis, Gilles Serge Odin, Brian R. Pratt, Maria Bianca Cita, Maria Rose Petrizzo, Stan

Finney, Yokichi Takayanagi, Alberto Riccardi, Bruce Waterhouse, Roger A. Cooper, Lucy E. Edwards, Geza Csaszar, Mike Johnson, Albert Brakel, Jan A. Zalesiewicz, Manfred Menning, Ki-Hong Chang, Jacques Thierry και Algimantas Grigelis.

Από ελληνικής πλευράς, ο συμμετέχων Καθηγητής Μ. Δ. Δερμιτζάκης όσον αφορά στην ομάδα εργασίας Βιοστρωματογραφία - έννοιες και εφαρμογές, σημείωσε ότι τα παραδείγματα εφαρμογής των μεθόδων που αναφέρονται θα πρέπει να εστιάζουν σε τοπικά και παγκόσμια σχήματα βιοζώνων, ενώ πρότεινε να προστεθεί στα θέματα του σχετικού άρθρου η ανάλυση της σχέσης Βιοστρωματογραφία και Χημειοστρωματογραφία: βιοζώνες και συμβάντα ισοτόπων. Όσον αφορά στην ομάδα εργασίας Χημειοστρωματογραφία - έννοιες και εφαρμογές, υποστήριξε ότι ο όρος *Chemostratigraphy* θα πρέπει να αντικατασταθεί από τον όρο *Chemiostratigraphy*, καθώς το πρώτο συνθετικό της λέξης προέρχεται από την ελληνική λέξη «χημεία» και όχι τη λέξη «χυμό» (Δερμιτζάκης, 2002). Επίσης, πρότεινε να συμπεριληφθούν τα θέματα «Στρωματογραφία ισοτόπων και στρωματοτύποι» και «Συμβολή της στρωματογραφίας ισοτόπων στο PETM (Paleocene-Eocene Thermal Maximum) και η οικολογική σημασία της».

Πρόσφατα, η Διεθνής Υποεπιτροπή Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως διοργάνωσε την Διάσκεψη του Penrose (Αυστρία, Ιούνιος, 2006). Σκοπός της διασκέψεως Penrose (2006) ήταν η εξέταση της θεμελιώδους φύσεως της στρωματογραφικής ταξινομήσεως, η συμβολή της αναπτύξεως της στρωματογραφίας στις γεωλογικές επιστήμες τα τελευταία χρόνια, όπως επίσης και ο εκσυγχρονισμός και η διάδοση των εφαρμογών της στρωματογραφίας.

Η διάσκεψη πραγματοποιήθηκε στο Schloss Seggau του Leibniz της Αυστρίας, στις 3-9 Ιουνίου 2006 και παρακολούθηθηκε από 31 επιστήμονες από την Αφρική, την Αυστραλία, την Ευρώπη και τη Νότια Αμερική και 6 Ευρωπαίους μερικής απασχολήσεως ερευνητές. Οι συμμετέχοντες ήταν οι: Marie-Pierre Aubry, William A. Berggren, Bjørn Berning, Robert M. Carter, Nicholas Christie-Blick, Michael D. Dermitzakis, Lucy Edwards, Hans Egger, Stan Finney, Rick Fluegeman, John A. Flynn, Stefano Furin, Andy Gale, Piero Gianolla, Yuri Gladenkov, Martin Gross, Mathias Harzhauser, Stephen Hesselbo, Linda Hinnov, Dennis Kent, Brian McGowran, Thierry Moorkens, Stefan Móllegger, James Ogg, Khaled Ouda, Jozsef Palfy, Brad Pillans, Werner E. Piller, Markus Reuter, Walter Schwarzacher, June Schwarzacher, Ali Soliman, Fritz F. Steininger, Gian Battista Vai, John A. Van Couvering, Michael O. Woodburne και Jan A. Zalesiewicz.

Στο πλαίσιο της διασκέψεως εξετάστηκαν το χρονοστρωματογραφικό καθεστώς του Καινοζωικού, τα προβλήματα, οι πρόσφατες μεθοδολογίες και το μέλλον της Χρονοστρωματογραφίας, ενώ επίσης ένα μέρος αφιερώθηκε στην εξέταση πιθανών βελτιώσεων στις τρέχουσες έννοιες και πρακτικές. Η διάσκεψη τελείωσε με μία ανοιχτή συζήτηση που περιστράφηκε γύρω από την παρούσα κατάσταση της Στρωματογραφίας και την ανανέωση του Κώδικα Στρωματογραφίας.

Έντονη υπήρξε η ανησυχία για τη θέση της Στρωματογραφίας στη σημερινή επιστημονική κοινωνία. Η Στρωματογραφία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην διερεύνηση της Γης και της Ιστορίας της Ζωής. Οι στρωματογράφοι, σήμερα, καλούνται να προωθήσουν το ρόλο της σθεναρά ξεκινώντας με μία

αναγέννηση της ιστορικής σκέψης στην εκπαίδευση μέσω της Ιστορικής Βιολογίας και της Ιστορικής γεωλογίας. Επίσης, τονίσθηκε ότι πρέπει να ενοποιηθούν οι έννοιες στις διάφορες γεωπολιτιστικές παραδόσεις. Ενώ σημαντικό βήμα σε αυτή την πρόκληση αποτελεί η κατάρτιση στους βασικούς κανόνες της Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως.

2. Η έννοια «Παγκόσμιας Τομής Στρωματοτύπου και Απόλυτου Ορίου»

Βαθμιαία το όραμά του Hedberg εξελίχθηκε στην έννοια της «Παγκόσμιας Τομής Στρωματοτύπου και Απόλυτου Ορίου» ή GSSP. Η έννοια του GSSP για υψηλής ακρίβειας συσχετισμούς απαιτεί τα όρια των βαθμίδων να ορίζονται μέσα σε συνεχείς ακολουθίες, γεγονός που δεν συνέβαινε στους περισσότερους από τους ιστορικούς στρωματοτύπους. Αυτός είναι και ο λόγος που τα GSSP επιλέγονται συνήθως σε βαθιά θαλάσσια περιβάλλοντα, στα οποία εξελικτικά γεγονότα της ημι-κοσμολίτικης πελαγικής πανίδας (κωνόδοντα, αμμωνίτες, πλαγκτονικά τρηματοφόρα, ορισμένα είδη τριλοβιτών κ.λπ.) ή/και οι διακυμάνσεις του ισότοπου του άνθρακα, χρησιμεύουν ως κύριοι δείκτες συσχετισμού.

Η μεγάλη πλειοψηφία των επικυρωμένων ή πιθανών GSSP βρίσκεται στη Δυτική Ευρώπη. Πολλά από αυτά τα επίπεδα των GSSP είναι μερικώς σύμφωνα με την ιστορική χρήση της ονοματολογίας που χρησιμοποιείται για τις βαθμίδες (π.χ. το GSSP της βάσης του Κενομανίου που καθορίζει και τη βάση του Ανώτερου Κρητιδικού συμπίπτει ουσιαστικά με την αρχή της βαθμίδας Κενομάνιο, όπως αυτή ορίστηκε από τον Alcide d'Orbigny το 1847). Αντίθετα, άλλα επίπεδα GSSP που καθορί-

ζουν βαθμίδες αναθεωρούν την ιστορική βαθμίδα (π.χ. το GSSP της βάσης του Τριαδικού είναι σημαντικά νεώτερο από τη σημαντικότερη μαζική εξαφάνιση και τις γεωχημικές ανωμαλίες που στο παρελθόν καθόριζαν το όριο Πέρμιο/Τριαδικό).

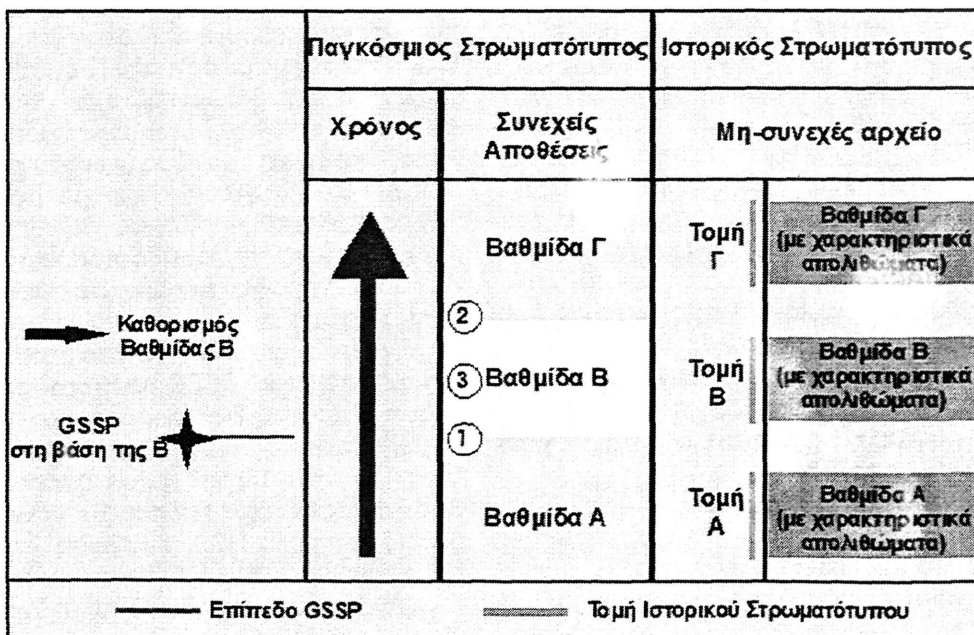
Παρόλο που η διεθνής γεωλογική κλίμακα καθορίζεται από παγκόσμια γεγονότα, υπάρχουν πολυάριθμες παραλλαγές της, οι οποίες βασίζονται σε σημαντικές ιζηματολογικές μεταβολές και παλαιοπεριβαλλοντικά ή βιολογικά χαρακτηριστικά σε τοπική όμως κλίμακα. Παραδείγματος χάριν, το Σινσινάτιο («Cincinnati») αποτελεί βαθμίδα του Ανωτέρου Ορδοβισίου που έχει χρησιμοποιηθεί για περίπου έναν αιώνα στην Κεντρική Αμερική.

Πρέπει να είμαστε σε θέση, εύκολα και με βεβαιότητα, να μετατρέπουμε και να συσχετίζουμε αυτές τις παραδοσια-

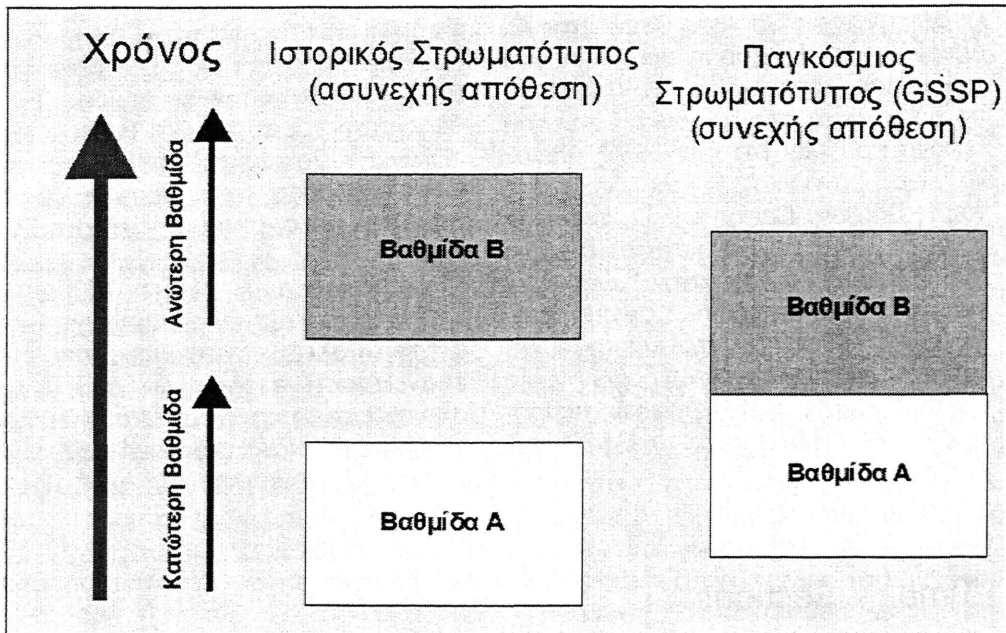
κές περιφερειακές κλίμακες στα διεθνή πρότυπα, όπως αυτά καθορίζονται από τα GSSP. Αν το σκεφτεί κανείς, αυτό αποτελεί και την ουσία της συντάξεως της παγκόσμιας ιστορίας της Γης – δηλαδή η τεκμηρίωση και ο συσχετισμός των γεγονότων που έλαβαν χώρα σε όλες τις περιοχές της Γης. Μόνο κατ' αυτόν τον τρόπο μπορούν οι γεωεπιστήμονες να κατανοήσουν τα πολύπλοκα στάδια της εξελίξεως, της περιβαλλοντικής σχέσεως «αίτια-επίδραση», της τεκτονικής και της γεωχημικής ανακυκλώσεως. Αυτό είναι και ένας από τους κύριους στόχους των διαφορετικών υποεπιτροπών της Διεθνούς Επιτροπής Στρωματογραφίας.

3. Η έννοια της βαθμίδας

Για τον καθορισμό μιας βαθμίδας απαιτούνται αφενός τα δύο απόλυτα όρια (GSSP), που την οριοθετούν επακρι-



Εικ. 1. Καθορισμός στρωματογραφικών ενότητων. Μία βαθμίδα απαιτεί τα ακόλουθα για τον πλήρη καθορισμό της: ένα GSSP για τον καθορισμό του κατώτερου ορίου, ένα GSSP για τον καθορισμό του ανώτερου ορίου και τα κύρια λιθολογικά και πανιδικά χαρακτηριστικά της βασισμένα στον ιστορικό στρωματότυπο από τον οποίο το όνομά της προήλθε.



Εικ. 2. Αναθεώρηση της έννοιας της βαθμίδας. Οι περισσότεροι ιστορικοί στρωματότυποι καθορίστηκαν σε κεντρικές φάσεις πλατφόρμας με αποτέλεσμα η απόθεση να είναι συνήθως ασυνεχής μεταξύ καθορισμένων βαθμίδων. Αντίθετα, η έννοια του απόλυτου ορίου (GSSSP) απαιτεί το όριο μιας βαθμίδας να καθορίζεται σε μια συνεχή ακολουθία στρωμάτων.

βώς, και αφετέρου ο ιστορικός στρωματότυπος που τεκμηριώνει το γενικό περιεχόμενο της βαθμίδας (Εικ. 1, 2). Ο ιστορικός στρωματότυπος είναι η τυπική τομή που έδωσε το όνομά της στη βαθμίδα. Πρέπει να υπάρχει συνοχή μεταξύ του περιεχομένου του ιστορικού στρωματότυπου όπως αυτός καθορίστηκε (δηλ. d'Orbigny, 1849-1852,) και των θέσεων των δύο απόλυτων ορίων (GSSP) που καθορίζουν τα σύγχρονα όριά του.

Η μοναδικότητα του απόλυτου ορίου αποτελεί εγγύηση ότι το όριο αυτό είναι καθοριστικό. Κατά συνέπεια, προβλήματα σχετικά με προηγούμενη χρήση διαδοχικών ιστορικών στρωματότυπων (ενδεχομένως ασυμβίβαστων λόγω στρωματογραφικών κενών ή επικαλύψεων) δεν υπάρχουν. Επομένως, η Διεθνής Ένωση Στρωματογραφίας

προτείνει ότι δεν χρειάζεται η ύπαρξη παραστρωματότυπου ή βοηθητικής τομής για την ενίσχυση ή συμπλήρωση ενός απόλυτου ορίου (GSSP).

Εντούτοις, μία και μοναδική τομή σπάνια τεκμηριώνει πλήρως τη γεωλογική ιστορία που περικλείεται στα όρια μιας ενότητας. Σύμφωνα με πολλούς στρωματογράφους, βοηθητικές τομές (όχι σημεία) θα μπορούσαν να τεκμηριώσουν καλύτερα την ακολουθία γεγονότων που συνοδεύουν ένα GSSP. Παραδείγματος χάριν, κατά τη διάρκεια της προκαταρκτικής μελέτης για τον καθορισμό του GSSP στην τομή EL Kef, στην Τυνησία, προτάθηκε να ενισχυθεί ο επίσημος καθορισμός του ορίου Μαιστριχτίου/Δανίου (και κατά συνέπεια Κρητιδικού/Παλαιογενούς) από μία βοηθητική ακολουθία στην ηπειρωτική περιοχή. Πράγματι, η τομή EL Kef συσχετίστη-

χε επιπλέον χρήσιμες φυσικο-χημικές (μαγνητοστρωματογραφία) και βιοστρωματογραφικές (πλαγκτονικά τρηματοφόρα) πληροφορίες που αφορούν στο επικυρωμένο GSSP (Εικ. 3).

Κατά συνέπεια, οι βοηθητικές τομές είναι χρήσιμες γιατί ενισχύουν με επιπλέον πληροφορίες το GSSP και παρέχουν έναν πιο αξιόπιστο γενικό συσχετισμό, ευνοώντας έτσι τη χρήση παγκόσμιων στρωματογραφικών υποδιαίρεσεων σε μεγάλες περιοχές.

4. «Χρυσή ακίδα ή Χρυσό γεγονός»

Αρχικά υπήρχαν πολλοί ενδοιασμοί από τους στρωματογράφους, για το αν ένα GSSP θα πρέπει να καθορίζεται από αυτό που καλείται «χρυσή ακίδα» ή από αυτό που καλείται «χρυσό γεγονός». Και τα δύο αποτελούν μεταφορικές έννοιες για την περιγραφή των απόλυτων ορίων παγκοσμίως. Η «χρυσή ακίδα» (golden spike) χρησιμεύει για να καθορίσει λειτουργικά ένα δεδομένο όριο, που απαιτεί την επιλογή μιας συγκεκριμένης στρωματογραφικής τομής και προορίζεται να αποτελεί μόνιμο σημείο. Παραδείγματος χάριν, το υπάρχον όριο Σιλουρίου/Δεβονίου καθορίζεται από τη χρυσή ακίδα που βρίσκεται στο επίπεδο που αντιστοιχεί στην κατώτερη γνωστή εμφάνιση ενός απολιθώματος γραπτόλιθου, του *Monograptus uniformis*, σε μία συγκεκριμένη τομή στο Klonk της Τσεχίας (McLaren, 1977). Αυτή η χρυσή ακίδα δεν υπάρχει περίπτωση να μετακινηθεί, ακόμα κι αν κάποιος αντιπρόσωπος του *M. uniformis* βρεθεί σε επίπεδο χαμηλότερο στην ίδια τομή (Cowie *et al.*, 1986; Remane, 2003; Gradstein *et al.*, 2003). Αντίθετα, τα όρια μιας «χρονολογικής ενότητας βασισμένης σε χρυσά γεγονότα» καθορίζονται εννοιολογικά με βάση γεωϊστορικά συμβάντα. Αυτό σημαίνει ότι ο αντίστοιχος καθορισμός

του ορίου Σιλουρίου/Δεβονίου γίνεται απλά με βάση την εξέλιξη του *M. uniformis*, οπουδήποτε και οποτεδήποτε αυτή πραγματοποιείται. Αυτό όμως σημαίνει ότι, όσο η γνώση μας αυξάνεται και συμπληρώνεται σχετικά με την εξέλιξη του *M. uniformis*, το συγκεκριμένο όριο θα υφίσταται συνεχώς τροποποιήσεις. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι πολλά από αυτά τα «χρυσά γεγονότα» είναι χρονικώς κάπως «συγκεχυμένα», όπως π.χ. είναι η έναρξη των παγετώνων, η εξέλιξη ορισμένων βιολογικών ειδών και οι αντιστροφές του γήινου μαγνητικού πεδίου (Ordlyke *et al.*, 1973; Clement *et al.*, 1982). Υπάρχουν όμως και «χρυσά γεγονότα» που είναι στιγμιαία, όπως ο αντίκτυπος του μεγάλου μετεωρίτη, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει εννοιολογικά το όριο Κρητιδικού/Παλαιογενούς.

5. Οι «χρυσές ακίδες» στην πράξη

Ένα απόλυτο όριο (GSSP), κατόπιν συμφωνίας σε διεθνές επίπεδο, είναι μια στρωματογραφική τομή που χρησιμεύει ως τομή αναφοράς ενός συγκεκριμένου ορίου του γεωλογικού χρόνου. Τα περισσότερα απόλυτα όρια (GSSP) ορίζονται με βάση παλαιοντολογικές αλλαγές. Ως εκ τούτου τα GSSP περιγράφονται συνήθως από την άποψη των μεταβάσεων μεταξύ διαφορετικών πανιδικών βαθμίδων, αν και πολύ περισσότερες πανιδικές βαθμίδες έχουν περιγραφεί από ότι GSSP. Η προσπάθεια καθορισμού GSSP έχει αρχίσει από το 1977. Μέχρι το 2004 είχαν εγκριθεί, 45 από τα 96 GSSP που απαιτούνται για τον καθορισμό των ορίων. Ένα ιδανικό GSSP θα πρέπει να είναι προσιτό στην έρευνα, αρκετά εκτενές ώστε να εξασφαλίζεται η μελλοντική του πρόσβαση, να συσχετίζεται εύκολα με άλλες επιφανειακές τομές σε παγκόσμιο επίπεδο, να περιέχει ραδιο-

χρονολογήσιμα στρώματα εκατέρωθεν του ορίου και να περιλαμβάνει καλά καθορισμένους δείκτες στο όριο της βαθμίδας, ώστε να ισχύουν παγκοσμίως. Δυστυχώς, όμως, κανένα GSSP δεν είναι ιδανικό.

Αξίζει να αναφέρουμε μερικά από τα κύρια κριτήρια που έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό των GSSP.

Η μεγάλη πλειοψηφία των GSSP έχει βασιστεί σε κάποιο βιοστρωματογραφικό καθοδηγητικό κριτήριο, δηλ. στην κατώτερη ή ανώτερη γνωστή εμφάνιση ενός απολιθώματος, ενός μοναδικού πελαγικού θαλάσσιου είδους στον στρωματότυπο του ορίου. Αυτά τα καθορισμένα επίπεδα γενικά υποστηρίζονται και από βιοστρωματογραφικά δεδομένα και άλλων ταξινομικών ομάδων, που βοηθούν τον συσχετισμό με τομές όπου το κύριο καθοδηγητικό κριτήριο μπορεί να είναι σπάνιο, να απουσιάζει, ή να είναι κακώς διατηρημένο (McLaren, 1997; Murphy, 1977).

Μερικά GSSP έχουν καθοριστεί χρησιμοποιώντας τους παλαιομαγνητικούς ορίζοντες αναστροφής ως κύριο καθοδηγητικό κριτήριο, με συμπληρωματικά βιοστρωματογραφικά στοιχεία επάνω και κάτω από την αναστροφή για επιπλέον συσχετισμό. Ένα παράδειγμα αποτελεί το GSSP του ορίου Παλαιογενούς/Νεογενούς (Ολιγόκαινο/Μειόκαινο), το οποίο τοποθετήθηκε σε ένα προφανές όριο μαγνητοζώνης στην τομή Lemme - Carrosio της Ιταλίας και το οποίο αντιπροσωπεύει το χρονολογικό όριο πολικότητας C6Cn.2r/C6Cn.2n (Steininger *et al.*, 1997).

Αν και κατάλληλη σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση των οριζόντων αναστροφής πολικότητας, ως αρχικό καθοδηγητικό κριτήριο για τον προσδιορισμό ενός GSSP, μπορεί, επίσης, να είναι προβληματική, εξαιτίας της δυαδικής

φύσεως του σήματος και της επακόλουθης δυνατότητάς μας “να συσχετίσουμε” οποιοδήποτε κατανοητό προφανές μαγνητοστρωματογραφικό δεδομένο με τη γεωμαγνητική χρονική κλίμακα πολικότητας (Odin *et al.*, 1977; Shackleton *et al.*, 2000). Αυτά τα προβλήματα είναι ιδιαίτερα έντονα σε εκείνα τα χρονικά διαστήματα που χαρακτηρίζονται από μια σύνθετη μαγνητική ιστορία πολικότητας (όπως είναι το Νεογενές), όπου οι αναστροφές εμφανίζονται συνήθως ανά 100.000 έως 200.000 έτη (Cande & Kent, 1992).

Οι ασυμφωνίες γενικά δεν θεωρούνται κατάλληλοι ορίζοντες για την τοποθέτηση των «χρυσών ακίδων» λόγω της περιορισμένης δυνατότητας συσχετισμού που παρέχουν (Walsh, 2004; Walsh *et al.*, 2004). Εντούτοις, οι van Couvering *et al.* (2000) τοποθέτησαν τη χρυσή ακίδα του ορίου Μειοκαινού/Πλειοκαινού σε μία ασυμφωνία μεταξύ του μηθαλάσσιου Σχηματισμού Arenazzollo και του υπερκείμενου θαλάσσιου Σχηματισμού Trubi, απεικονίζοντας έτσι την ιστορική έννοια της βάσεως του Ζαγκλίου στην περιοχή της Μεσογείου. Μια τέτοια ανορθόδοξη τοποθέτηση χρυσής ακίδας δικαιολογήθηκε από τον εξαιρετικό συσχετισμό του Σχηματισμού Trubi με την αστροχρονολογική κλίμακα.

Ασύμφωνοι ορίζοντες, επίσης, χρησιμοποιούνται με προσοχή και σε ορισμένες άλλες περιπτώσεις. Παραδείγματος χάριν, απόλυτα όρια για το Προκάμβριο είναι δύσκολο να καθοριστούν και είναι κατανοητό, ότι ο καλύτερος διαθέσιμος στρωματότυπος ορίου για τον καθορισμό μιας ιδιαίτερης υποδιαρέσεως του Προκαμβρίου θα πρέπει να περιλαμβάνει την τοποθέτηση της χρυσής ακίδας σε μία δευτερεύουσα δισυμφωνία, εάν η επιλογή ενός τέτοιου ορίου παρέχει την καλύτερη δυνατότητα συσχετισμού

από όλες τις άλλες διαθέσιμες τομές. Σήμερα, τα χημειοστρωματογραφικά κριτήρια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των απόλυτων ορίων, και προσφέρουν σε μερικές περιπτώσεις τη δυνατότητα για ακριβή παγκόσμιο συσχετισμό των θαλασσίων και μη-θαλασσίων φάσεων. Έτσι, το απόλυτο όριο Κρητιδικού/ Παλαιογενούς καθορίστηκε τυπικά στην τομή EL Kef, Τυνησία, με τη χρήση της διάσημης ανωμαλίας ιριδίου ως αρχικού καθοδηγητικού κριτηρίου (Alvarez *et al.*, 1980). Η χημειοστρωματογραφική προσέγγιση εξηγείται, επίσης, από την αξιοπρόσεκτη αρνητική τάση των ισοτόπων άνθρακα (CIE) που γίνεται αποδεκτή ως καθοδηγητικό κριτήριο για το όριο Παλαιοκαίνου/Ηωκαίνου. Η αρνητική αυτή τάση συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τις παγκόσμιες πανδικές αλλαγές των θηλαστικών, των βενθονικών τρηματοφόρων και των δινομαστιγωτών και, συνεπώς, παρέχει δυνατότητα συσχετισμού σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα θαλάσσια στάδια ισοτόπων οξυγόνου, τόσο θεμελιώδη στην κατανόηση της γεωιστορίας του Πλειοπλειστοκαίνου, αποτελούν ένα άλλο παράδειγμα χημειοστρωματογραφικών φαινομένων που διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην υποδιαίρεση του Γεωλογικού Χρόνου, ειδικότερα στον επίσημο καθορισμό του ορίου του Μέσου-Ανώτερου Πλειστοκαίνου.

Τέλος, μία καινοτόμος προσέγγιση στον καθορισμό απόλυτου ορίου καταδείχθηκε από την Odin (2001) και Odin & Lamaurelle (2001), οι οποίοι καθόρισαν τη χρυσή ακίδα για το όριο Καμπάνιο/Μαιστρίχτιο στη μέση μιας “δέσμης” δώδεκα διαφορετικών βιοστρωματογραφικών περιστατικών διαφόρων ειδών σε μία θαλάσσια τομή της Γαλλίας, αλλά χωρίς υπόδειξη κάποιου συγκεκριμένου βιοστρωματογραφικού

περιστατικού ως αρχικού καθοδηγητικού κριτηρίου για το όριο. Αυτή η προσέγγιση, παρόλο που υποβιβάζει τη σημασία οποιουδήποτε κριτηρίου συσχετισμού, υπογραμμίζει το γεγονός ότι μόλις καθοριστούν, οι χρυσές ακίδες αποτελούν σταθερά, θεωρητικώς ουδέτερα επίπεδα συσχετισμού.

6. Η διαφοροποιημένη φύση της Στρωματογραφίας

“Η υποδιαίρεση με τη χρήση των απόλυτων ορίων είναι δυνατή για το μεγαλύτερο μέρος του γεωλογικού αρχείου”. Αυτό, βέβαια, δεν σημαίνει ότι είναι και αποδοτική σε όλες τις περιπτώσεις. Τα απόλυτα όρια ισχύουν στις ακολουθίες στρωμάτων που περιέχουν κοινά, ευρέως αναγνωρίσιμα κριτήρια για συσχετισμό. Αυτά διευκολύνουν τον καθορισμό του στρωματότυπου σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά για την τεκμηρίωση της Ιστορίας της Γης πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, όπως η σχετική αφθονία, η ευκολία αναγνωρίσεως και η ευρεία κατανομή στα διάφορα πετρώματα που βρίσκονται διασκορπισμένα σε διάφορα σημεία της Γης.

Πάντως ένα απόλυτο όριο που καθιερώνεται χωρίς βιοστρωματογραφικό έλεγχο δεν αποτελεί ρεαλιστική προσέγγιση για τον προσδιορισμό ενός σημείου στον χρόνο. Αυτό δεν σημαίνει ότι το απόλυτο όριο δεν θα μπορούσε να επιλεγεί με βάση κάποιο φυσικο-χημικό κριτήριο, το οποίο σε τοπικό επίπεδο θεωρείται αξιόπιστος δείκτης χρόνου. Απαιτεί όμως την ταυτόχρονη παρουσία βιοστρωματογραφικών δεικτών, κάτι που δεν είναι δυνατό στα περισσότερα πετρώματα του Προκαμβρίου και, συνεπώς, η έννοια του απόλυτου ορίου δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να τεκμηριώσει τη Χρονοστρωματογραφία

σίγουρη προσέγγιση στον καθορισμό και την αναγνώριση οποιασδήποτε ακολουθίας. Προκειμένου να τελειοποιηθεί η ερμηνεία, η χρήση διάφορων ανεξάρτητων εργαλείων είναι ενδεδειγμένη. Ο αμοιβαίος συσχετισμός είναι επικτός και επιθυμητός, όταν ερευνώνται οι ακολουθίες με τη χρήση δύο ή περισσότερων εργαλείων και μία κοινή γλώσσα μπορεί να καθιερωθεί. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει την επίτευξη της πλήρους γνώσεως των διαφοροποιημένων και σχετικά αμετάβλητων εγγενών χαρακτηριστικών σε αυτές τις ακολουθίες.

Κάθε εργαλείο παράγει την κλίμακά του. Κάθε τέτοια κλίμακα μπορεί να έχει αναφορά σε βιοστρωματογραφικά δεδομένα (όπως οι παλυνολογικές-κλιματικές αλλαγές), σε γεωχημικά στοιχεία (όπως τα στάδια του ^{18}O) σε αριθμητικές ηλικίες (είτε μετρημένες, είτε συναγμένες από τους κύκλους Milankovich, είτε από τις καμπύλες του ^{18}O , με μια γενική ακρίβεια της τάξεως των 10.000 ετών), σε μαγνητοστρωματογραφικές ενότητες (που στο διάστημα αυτής της περιόδου έχουν "κατάλληλα" ονόματα, και είναι όχι μόνο αριθμοί), σε μερικές λιθοστρωματογραφικές ενότητες (όπως οι παγετώδεις αποθέσεις που ονομάζονται ποικιλοτρόπως ανάλογα με την περιοχή). Δεν υπάρχει κανένα "κύριο" εργαλείο για την καταγραφή της ιστορίας του Πλειο-Τεταρογενούς. Όλες οι κλίμακες αναφέρονται σε ακριβείς αριθμητικές ηλικίες· έτσι καθορισμός GSSP δεν απαιτείται.

7. Πρόσφατες αναθεωρήσεις της Γεωλογικής Χρονικής Κλίμακας

Η οργάνωση της Διεθνούς Ενώσεως Γεωλογικών Συνεδρίων (IUGS) στη δεκαετία του '60, ξεκίνησε παγκόσμιες προσπάθειες για τον ακριβή προσδιορισμό των γεωλογικών χρονικών δια-

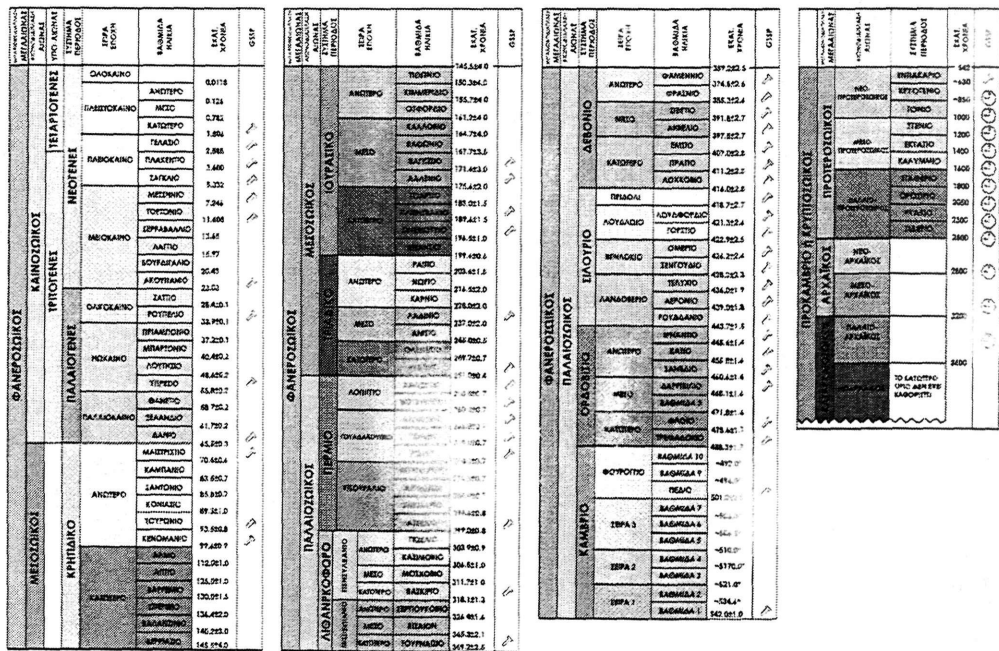
στημάτων. Ένα δίκτυο εργαστηρίων που χρησιμοποιούν ομοιόμορφες διαδικασίες έρευνας ανέλαβε την παροχή καλώς αποδεκτών γεωλογικών δεδομένων. Η Διεθνής Επιτροπή Στρωματογραφίας (ICS) που δημιουργήθηκε στη συνέχεια, οργάνωσε μερικές υποεπιτροπές που επιφορτίστηκαν με τον στόχο της συγκεντρώσεως, ταξινομήσεως και διατηρήσεως της στρωματογραφικής βάσεως δεδομένων, για να ενοποιήσουν την περιφερειακή ονοματολογία, να αναπροσαρμόσουν τα αποτελέσματα από τις νέες διεπιστημονικές μεθόδους και, επίσης, να ορίσουν και να ταξινομήσουν τις ορολογίες. Κατά συνέπεια, η Γεωλογική Κλίμακα άρχισε βαθμιαία να παρουσιάζει πιο σχετικές και αξιόπιστες, παγκοσμίως εφαρμόσιμες στρωματογραφικές υποδιαίρεσεις. Επ'αυτού, οι αναθεωρήσεις που έλαβαν χώρα κατά τα έτη 1982, 1989 και 2000 είναι αξιοσημείωτες, αν και δεν είναι συνολικά πλήρεις.

Στις τελευταίες δύο δεκαετίες μόνο, οι εξελίξεις στις τεχνικές πεδίου και εργαστηρίων, η πρόοδος στις μελέτες των ραδιενεργών και σταθερών ισότοπων, η βελτιωμένη αξιολόγηση των απολιθωμένων αρχείων και η χρήση των αποδείξεων των γήινων μαγνητικών αναστροφών και των κλιματολογικών κύκλων που διατηρούνται στα ιζηματογενή πετρώματα για σκοπούς χρονολόγησης, βελτίωσαν την ποιότητα των δεδομένων και συνέβαλαν πολύ στον ακριβή καθορισμό της Διεθνούς Χρονοστρωματογραφικής Κλίμακας, εισάγοντας νέες υποδιαίρεσεις και καθορίζοντας τα όρια των γεωλογικών περιόδων. Συνθέτοντας τις σημαντικότερες συνεισφορές που προκύπτουν από αυτές τις νέες προσεγγίσεις, κατά τη συνεδρίαση Διεθνούς Επιτροπής Στρωματογραφίας, το 2004, 38 ειδικοί υπό την προεδρία του F.M. Gradstein, από

το Πανεπιστήμιο του Όσλο, συζήτησαν τις αναθεωρήσεις που προκύπτουν από τα νέα στοιχεία και προέβλεψαν την πιο πρόσφατη έκδοση της Γεωλογικής Κλίμακας GTS 2004.

Σε αυτήν την καινούργια αναθεώρηση, επιλέχθηκαν ανάμεσα στις πολλές μεθόδους που υπάρχουν για την κατασκευή της Γεωλογικής Κλίμακας αυτές που παρέχουν τις πιο αξιόπιστες πληροφορίες (Ogg, 2004). Παραδείγματος χάριν, νέα δεδομένα για την εξάπλωση του θαλάσσιου πυθμένα, βαθμονομημένα μέσω της συνδυασμένης εφαρμογής της Χρονικής Κλίμακας Γεωμαγνητικής Πολικότητας (GPTS) και χρονολογημένα με τη μέθοδο $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ εφαρμόστηκαν για τον καθορισμό μερικών ορίων, π.χ. Ιουρασικού/Κρητιδικού, Κρητιδικού/Καινοζωικού. Επιπλέον, ο αστρονομικός συντονισμός των

ιζηματογενών κύκλων που επηρεάζονται από τις μεταβολές της Γης στην εκκεντρότητα, λοξότητα και μετάπτωση ισημεριών (τροχιακός συσχετισμός), ο οποίος θεωρείται ακριβής για περίοδο διάρκειας 20 Kyr, χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των υποδιαίρέσεων του Μεσοζωικού (Τριαδικό, Ιουρασικό, Κρητιδικό) και επίσης για την υποδιαίρεση των τελευταίων 23 χιλιάδων ετών. Ιδιαίτερα ακριβείς ραδιοχρονολογήσεις με μεθόδους φασματογράφων μάζας (TIMS) διαλύσεως ισοτόπων (U/Pb), και ραδιοχρονολογήσεις με τη μέθοδο $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ελεγχόμενες από νέα βελτιωμένα πρότυπα και ήδη δημοσιευμένα στοιχεία, που λήφθηκαν από τις πρόσφατες μεθόδους SHRIMP (U/Pb), υιοθετήθηκαν. Όλα αυτά συνέβαλαν στη μεγαλύτερη αξιοπιστία αρκετών από τα στρωματογραφικά διαστήματα



Εικ. 5. Στρωματογραφική κλίμακα (Διεθνής Επιτροπή Στρωματογραφίας, Διεθνής Ένωση Γεωλογικών Επιστημών, Gradstein et al., 2004)

μεταξύ του Καμβρίου-Τριαδικού-Κρητιδικού, που έως τώρα είχαν υποδιαιρεθεί με βάση μόνο παλαιοντολογικά ή τεκτονικά γεγονότα. Οι γεω-μαθηματικές και στατιστικές μέθοδοι συσχέτισμού ήταν μερικές από τις υπόλοιπες τεχνικές που υιοθετήθηκαν στην αξιολόγηση των διαθέσιμων απολιθωμένων στοιχείων, ραδιοχρονολογήσεων καθώς, επίσης, και στον ρυθμό επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα κατά τη διάρκεια των γεωλογικών κενών του Τριαδικού, Ιουρασικού και Κρητιδικού, Καινοζωικού.

Η Γεωλογική Χρονική Κλίμακα 2004, η οποία ενσωματώνει σημαντικές αλλαγές, χαρακτηρίζεται από τον καθορισμό Παγκόσμιων Τομών Στρωματοτύπων και Απόλυτων Ορίων (GSSP), που παρουσιάζουν παγκόσμια δυνατότητα συσχέτισμού, ή από τον καθορισμό Παγκόσμιων Τυποποιημένων Στρωματογραφικών Ηλικιών που δεν διαθέτουν ισοδύναμο Στρωματοτύπο (GSSA).

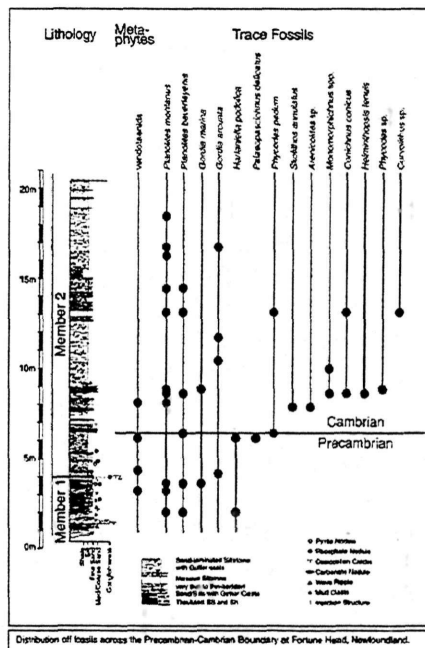
Κρυποζωϊκός Μεγααιώνας ή Προκάμβριο: Καταρχαιοζωϊκός, Αρχαϊκός και Προτεροζωϊκός Αιώνας

Οι υποδιαιρέσεις και ο συσχετισμός του Φανεροζωϊκού Μεγααιώνας βασίζονται παραδοσιακά στην εξέλιξη της ζωής των μεταζών. Αντίθετα, το Προκάμβριο στερείται γενικά καλώς τεκμηριωμένων ακριβών παγκόσμιων οριζόντων συσχετισμού, και ο συσχετισμός των περιφερειακών στρωματογραφιών του Προκάμβριου χρησιμοποιεί γενικά τη ραδιοχρονολόγηση. Επομένως, σήμερα το Προκάμβριο διαιρείται σε υποδιαιρέσεις, στις οποίες οι Παγκόσμιες Τυποποιημένες Στρωματογραφικές Ηλικίες (GSSA) έχουν επιλεγεί για να οριοθετήσουν τις κατ' εκτίμηση ηλικίες των κύριων κύκλων ιζηματογένεσης, της δημιουργίας ορεινών μαζών και της ηφαιστειότητας.

Ο όρος «Προκάμβριο» δεν αποτελεί

επίσημο στρωματογραφικό όρο και αναφέρεται απλά στα πετρώματα που δημιουργήθηκαν πριν από το Κάμβριο. Διαιρείται τυπικά στον παλαιότερο Καταρχαιοζωϊκό Αιώνα, στον Αρχαϊκό Αιώνα και στον νεώτερο Προτεροζωϊκό Αιώνα. Τα άτυπα προθέματα Αρχαϊκός, Εο-, Παλαιο -, Μεσο - και Νεο-Αρχαϊκός, εγκρίθηκαν από την υποεπιτροπή του Προκάμβριου το 1996.

Ο Προτεροζωϊκός Αιών αρχίζει πριν από 2500 εκατομ. χρόνια. Οι Παλαιο-, Μεσο- και Νεο-προτεροζωϊκές εποχές διαιρούνται σε περιόδους που παίρνουν το όνομά τους από κλασικά τεκτονικά, ιζηματολογικά ή περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Η τελευταία περίοδος του Νεοπροτεροζωϊκού, που καλείται προσωρινά "Νεοπροτεροζωϊκός III", ονομάστηκε τυπικά ως περίοδος Εντια-



Εικ. 6. Κατανομή απολιθωμάτων κατά μήκος του ορίου Προκάμβριου-Καμβρίου. Η εμφάνιση του ιχνοαπολιθώματος *Tricorhycus pedum* καθορίζει τη βάση του Καμβρίου.

κάριο στις αρχές του 2004. Η περίοδος Εντιακάριο αρχίζει στο τέλος της καλά τεκμηριωμένης παγετώδους περιόδου (παγετώνες Marinoan) περίπου 630-620 εκατομ. χρόνια, και καθορίζεται από ένα Παγκόσμιο Στρωματοτύπο και Απόλυτο Όριο (GSSP) στη σειρά Flinders της Αυστραλίας.

Φανεροζωϊκός Μεγαίωνας:

Παλαιοζωϊκός Αιώνας

Το Κάμβριο σύστημα/περίοδος έχει υποβληθεί σε ριζικές αλλαγές για τον καθορισμό του και τις υποδιαιρέσεις του κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας. Η βάση του Καμβρίου καθορίζεται τώρα από ένα Παγκόσμιο Στρωματοτύπο και Απόλυτο Όριο (GSSP) που συνδέεται με την πρώτη εμφάνιση των σύνθετων μεταζώων υπό τη μορφή ιχνοαπολιθωμάτων (*Tricorynus redum*, Εικ. 6). Αυτό το επίπεδο σχεδόν συμπίπτει με μια έντονη αρνητική τάση των ισοτόπων του άνθρακα. Γενικά, το Κάμβριο χαρακτηρίζεται από πολυάριθμες τοπικές υποδιαιρέσεις με βάση τις ιζηματογενείς φάσεις και την ενδημική πανίδα, αλλά οι περισσότερες από αυτές δεν είναι κατάλληλες για παγκόσμια χρήση. Εντούτοις, η ύπαρξη στο Μέσο και Ανώτερο Κάμβριο παγκόσμιων βιοστρωματογραφικών δεικτών, όπως είναι ο πανδημικός, πελαγικός τριλοβίτης *Agnostoid*, υπόσχεται τη μελλοντική παγκόσμια υποδιαίρεση του Μ. Καμβρίου με τη χρήση Παγκόσμιο Στρωματοτύπο και Απόλυτο Όριο (GSSP). Αυτή τη στιγμή, μόνο η βάση του Ανώτερου Καμβρίου, το Φουρόγγιο, καθορίζεται από Παγκόσμιο Στρωματοτύπο με Απόλυτα Όρια (GSSP).

Οι υπάρχουσες περιφερειακές ακολουθίες των σειρών και των βαθμίδων για το Ορδοβίσιο βρέθηκαν, επίσης, να μην είναι ικανοποιητικές για παγκόσμια χρήση. Η υποεπιτροπή του Ορδοβισίου

έχει προσδιορίσει ένα σύνολο διαδεδομένων βιοστρωματογραφικών σημείων αναφοράς με βάση τους γραπτόλιθους και τα κωνόδοντα, που τα χρησιμοποιεί για τον καθορισμό των Παγκόσμιων Στρωματοτύπων και Απόλυτα Όρια (GSSP).

Οι υποδιαιρέσεις του Σιλουρίου καθορίστηκαν κυρίως το 1980 και το 1984 με τον προσδιορισμό GSSP με βάση τους γραπτόλιθους και κλασικές λιθοστρωματογραφικές ενότητες της νοτιοδυτικής Αγγλίας και Ουαλίας. Εντούτοις, ο προσδιορισμός μερικών από αυτά τα επίπεδα δεν είναι απόλυτα τεκμηριωμένος. Επομένως, η υποεπιτροπή του Σιλουρίου βρίσκεται στη φάση της εκ νέου αναθεώρησης ορισμένων Παγκόσμιων Στρωματοτύπων και Απόλυτα Όρια (GSSP).

Για το Δεβόνιο, Λιθανθρακοφόρο και Πέρμιο χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα κωνόδοντα για τους παγκόσμιους ορίζοντες συσχετισμού που συνδέονται με επικυρωμένους ή πιθανούς Παγκόσμιους Στρωματοτύπους και Απόλυτα Όρια (GSSP). Οι βαθμίδες του Δεβονίου οριοθετούνται πλήρως από GSSP που έχουν πιστοποιηθεί στην Τσεχία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, το Ουζμπεκιστάν και το Μαρόκο.

Παρόλο που το Λιθανθρακοφόρο ήταν μία από τις πρώτες τεκμηριωμένες γεωλογικές περιόδους, σήμερα αποτελεί μια από τις πιο πολύπλοκες και συγκεχυμένες από την άποψη της στρωματογραφίας και του συσχετισμού. Οι καλά καθιερωμένες, αλλά ανεξάρτητες, τοπικές υποδιαιρέσεις στην Ευρώπη, Ρωσία, Β. Αμερική και αλλού, είναι δύσκολο να συσχετιστούν. Για τις διεθνείς τυποποιημένες σειρές και βαθμίδες, η υποεπιτροπή του Λιθανθρακοφόρου αποφάσισε να εγκαταλείψει το σύστημα υποδιαιρέσεως της Δυτικής Ευρώπης (Στεφάνιο, Βεσπάλιο,

Ναμούριο), και να υιοθετήσει μία ρωσική ονοματολογία. Ο πιθανός Παγκόσμιος Στρωματότυπος (GSSP) για κάθε βαθμίδα συμπίπτει με τη διαδεδομένη εμφάνιση των κωνόδοντων ή του τρηματοφόρου *Fusulina*.

Η περίοδος του Περμίου χωρίζεται σε τρεις εποχές/σειρές - την κατώτερη σειρά/εποχή Κισουράλιο, η οποία έχει τέσσερεις Παγκόσμιους Στρωματότυπους με Απόλυτα Όρια (GSSP) στη Ρωσία και το Καζακστάν, τη μεσαία σειρά/εποχή Γουαδαλούπιο, η οποία έχει τρεις Παγκόσμιους Στρωματότυπους με Απόλυτα Όρια (GSSP) στο Τέξας, και την ανώτερη σειρά Λοπίγγιο με δύο Παγκόσμιους Στρωματότυπους με Απόλυτα Όρια (GSSP) στην Κίνα. Όλοι οι Παγκόσμιους Στρωματότυπους με Απόλυτα Όρια (GSSP) συσχετίζονται με εμφανίσεις κωνόδοντων.

Μεσοζωικός Αιώνας (Εικ. 5)

Οι περισσότερες βαθμίδες του Τριαδικού (Ανίσιο, Λαδίνιο, Κάρνιο, Νόριο, Ραίτιο), ονομάστηκαν από τις πλούσιες σε αμμωνίτες ασβεστολιθικές ακολουθίες των βόρειων Άλπεων της Αυστρίας. Εντούτοις, η στρωματογραφία αυτών των αυστριακών τεκτονισμένων φάσεων αποδείχθηκε ακατάλληλη για την καθιέρωση των επίσημων στρωματότυπων ορίου, ή ακόμα και για την τεκμηρίωση της σειράς διάταξης των βαθμίδων. Η γενική έλλειψη σαφών ιστορικών προηγουμένων για την τοποθέτηση των ορίων των βαθμίδων του Τριαδικού, που συνδέεται με τις δυσκολίες ευρέσεως παγκόσμιων οριζόντων συσχετισμού, έχει καθυστερήσει την καθιέρωση επίσημων Παγκόσμιων Στρωματότυπων και Απόλυτων Ορίων (GSSP).

Ο Παγκόσμιος Στρωματότυπος και Απόλυτο Όριο (GSSP) της βάσεως του Τριαδικού (και κατ' επέκταση του

Μεσοζωικού) στην Κίνα, συμπίπτει με την αποκατάσταση από τις μαζικές εξαφανίσεις που έλαβαν χώρα στο τέλος του Περμίου, όπως αυτή υποδεικνύεται από την σχεδόν παγκόσμια εμφάνιση ενός κωνόδοντου και τη λήξη μιας σημαντικής αρνητικής τάσεως των ισότόπων του άνθρακα. Αυτά τα γεγονότα εμφανίζονται πολύ έντονα αμέσως μετά την κορύφωση των εξαφανίσεων στο Αν. Πέρμιο. Οι βαθμίδες του Τριαδικού διατηρούν την αλπική ονοματολογία, αλλά ακόμα εκκρεμούν αποφάσεις σχετικά με τους κύριους οριζόντες συσχετισμού. Οι αμμωνίτες γενικά παρέχουν υψηλής ευκρίνειας συσχετισμό και υποδιαίρεση του Ιουρασικού σε όλη την υδρόγειο. Οι βάσεις σχεδόν όλων των ιουρασικών βαθμίδων ορίζονται παραδοσιακά στη βάση των ζωνών αμμωνιτών σε περιθωριακές θαλάσσιες ακολουθίες της Δυτικής Ευρώπης, και οι Παγκόσμιοι Στρωματότυποι και Απόλυτα Όρια (GSSP) έχουν διατηρήσει αυτόν τον συσχετισμό με τους ευρωπαϊκούς δείκτες αμμωνιτών. Ο προσδιορισμός του Παγκόσμιου Στρωματότυπου και Απόλυτου Ορίου (GSSP) στο Αν. Ιουρασικό κωλύεται από έναν έντονο εγκάρσιο διαχωρισμό της Τηθύος σε βόρεια και άλλα πανιδικά καθεστώτα, τα οποία εμποδίζουν προς το παρόν τον παγκόσμιο συσχετισμό.

Αυτός ο πανιδικός επαρχιωτισμός, ειδικά στους αμμωνίτες, συνεχίστηκε και στο Κατ. Κρητιδικό, περιπλέκοντας έτσι τον εντοπισμό του Παγκόσμιου Στρωματότυπου και Απόλυτου Ορίου (GSSP) για τη βάση του Κρητιδικού (Βεριάσιο) και άλλες πέντε βαθμίδες του Κατ. Κρητιδικού. Κατά συνέπεια, ένας μικροπαλαιοντολογικός δείκτης με *calpionellidae* προτείνεται για τη βάση του Βαλανζίνιου, και μαγνητικοί οριζόντες αναστροφής έχουν προταθεί ως κύρια κριτήρια συσχετισμού

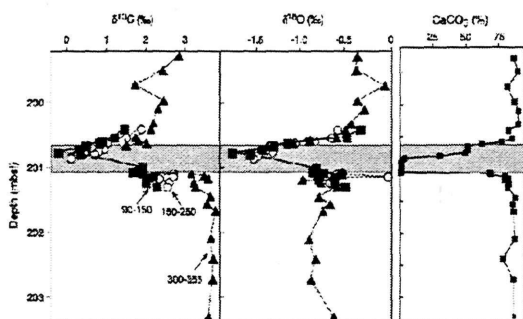
για τους Παγκόσμιους Στρωματότυπους και Απόλυτα Όρια (GSSP) της βάσεως του Κρητιδικού (Chron M19n) και της βάσεως του Απτίου (Chron M0r). Τα Απόλυτα Όρια του Ανώτερου Κρητιδικού περιλαμβάνουν ένα ποικίλο σύνολο παλαιοντολογικών ομάδων, συμπεριλαμβανομένων των πλαγκτονικών Τρηματοφόρων, πελαγικών κρινοειδών, αμμωνιτών και βελεμνιτών.

Καινοζωικός Αιώνας (Εικ. 5)

Στη νέα στρωματογραφική κλίμακα, η διαίρεση του Καινοζωικού περιορίζεται σε Παλαιογενές και Νεογενές χωρίς την επίσημη χρήση του Τριτογενούς

καθορίζεται από Απόλυτα Όρια που συνδέονται με μία ανωμαλία ιριδίου που εντοπίζεται στο τέλος του Κρητιδικού (βάση Παλαιογενούς), μία συνοπτική αρνητική τάση των ισotόπων του άνθρακα (βάση Ηωκαίνου, Εικ. 7) και την εξάλειψη ενός πλαγκτονικού Τρηματοφόρου (*Hantkenina*) (βάση Ολιγοκαίνου). Πάντως, οι βαθμίδες κάθε μιας από αυτές τις εποχές/σειρές ακόμα δεν έχουν καθοριστεί τυπικά από Παγκόσμιο Στρωματότυπο, ούτε τα κύρια κριτήρια συσχέτισμού έχουν επιλεγεί. Εντούτοις, ως Απόλυτα Όρια θα χρησιμοποιήσουν ενδεχομένως σημεία αναφοράς από τα Ασβεστολιθικά Ναννοσπολιθώματα, τα Πλαγκτονικά Τρηματοφόρα και τις Μαγνητικές Αναστροφές.

Κάθε Παγκόσμιος Στρωματότυπος με Απόλυτα Όρια (GSSP) του Νεογενούς έχει βαθμονομηθεί με πολλούς οριζόντες συσχέτισμού (μικροσπολιθώματα, μαγνητικοί, σταθερών ισotόπων, ή αστρονομικοί κύκλοι). Επιπλέον, τα GSSP έχουν επιλεγεί με στόχο την άμεση βαθμονόμηση με τους αστρονομικούς κύκλους "Milankovitch", ως εκ τούτου υπάρχουν απόλυτες ηλικίες. Συνεπώς, από τη βάση



Εικ. 7. Καθορισμός του ορίου Παλαιοκαίνου-Ηωκαίνου με βάση την απότομη αρνητική τάση των ισotόπων του άνθρακα.

και Τεταρτογενούς, τα οποία ουσιαστικά αποτελούν περιόδους της αρχικής υποδιαίρεσής της Ιστορίας της Γης σε τέσσερα σημαντικά τμήματα. Εντούτοις, το Τεταρτογενές διατηρείται ως κλιματικός-στρωματογραφικός όρος της κλίμακας κατέχοντας την ιεραρχική θέση του υπο-αιώνα για τα προηγούμενα 2,6 εκατομ. χρόνια (βάση της βαθμίδας Γελάσιο, Aubry *et al.*, 2005; Berggren, 2007) όπου επικρατούσαν σημαντικές διακυμάνσεις παγετώνων, και επομένως καλύπτει το Ολόκαινο, Πλειστόκαινο και το Αν. Πλειόκαινο.

Η υποδιαίρεση του Παλαιογενούς

του Αν. Μειοκαίνου έως τη βάση του Πλειστοκαίνου υπάρχουν βαθμονομημένοι Παγκόσμιοι Στρωματότυποι και Απόλυτα Όρια (GSSP).

Το Πλειστόκαινο συνίσταται από υψηλής ευκρίνειας βαθμίδες με βάση τα ισotόπα οξυγόνου. Επομένως, για την αποφυγή συγχύσεως, δεν καθορίζονται απόλυτα όρια. Αντ' αυτών, το Πλειστόκαινο υποδιαιρείται σε ενότητες, με τη βάση του Μέσου Πλειστόκαινου να ορίζεται δοκιμαστικά ως η βάση μιας μαγνητικής αναστροφής, και τη βάση του Ανώτερου Πλειστοκαίνου να συμπύπτει με τη μεσοπαγετώδη περίοδο περι-

που στα 126 χιλιάδες έτη. Η βάση του Ολοκαίνου καθορίζεται παγκόσμιος χρόνο που συμπίπτει με τη λήξη της νεώτερης ψυχρής περιόδου του Νεότερου Δρυασίου στα 13.000 χρόνια.

8. Επίλογος

Αν και έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για τη δημιουργία της πλέον πρόσφατης Γεωλογικής Χρονικής Κλίμακας (GTS- 2004), ο καθορισμός μιας ιδανικής κλίμακας, που θα έχει τη συναίνεση ολόκληρης της γεωλογικής κοινότητας, συνεχίζει να αποτελεί ένα ιδιαίτερα δυναμικό ερευνητικό πεδίο. Μία άλλη αναθεώρηση αναμένεται στο 33^ο διεθνές Γεωλογικό Συνέδριο στο Όσλο το 2008. Εκεί πρόκειται να εξεταστούν νέες αναθεωρήσεις και ίσως θα λυθούν πολλά από τα αναπάντητα ζητήματα, όπως ο καθορισμός μερικών από τα κλασικά όρια π.χ. Δεβόνιο/Λιθανθρακοφόρο, Πέρμιο/Τριαδικό, τυποποιώντας έτσι τις υπάρχουσες μακροχρόνιες περιόδους (π.χ. Κάμβριο, Φανεροζωικός). Αναμένεται επίσης η έγκριση της υποδιαίρεσης της Αρχαϊκής Μεγααιωνοδιάπλασης σε Νεοαρχαϊκή, Μεσοαρχαϊκή, Παλαιοαρχαϊκή και Εοαρχαϊκή Αιωνοδιάπλαση.

9. Βιβλιογραφία

Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel, H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208, 1095-1108.

Aubry, M.-P., Berggren, W.A., Couvering, J. van, McGowran, B., Pillans, B. & Hilgen, F., 2005. Quaternary: status, rank, definition, survival. *Episodes*, 28 (2), 1-4.

Berggren, W.A., 2007. Status of the hierarchical subdivision of higher order marine Cenozoic chronostratigraphic units. *Stratigraphy*, 4, 99-108.

Cande, S.C. & Kent, D.V., 1992. A new

geomagnetic polarity time scale for the late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 97, 13917-13951.

Cita, M.B., 2006. New developments in stratigraphic classification. A project of the International Subcommission on Stratigraphic Classification ISSC. *Newsletters on Stratigraphy*, 42(2), 69-74.

Clement, B.M., Kent, D.V. & Opdyke, N.D., 1982. Brunhes-Matuyama polarity transition in three deep-sea sediment cores. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A*, 306, 113-119.

Cowie, J.W., Ziegler, W., Boucot, A.J., Bassett, M.G. & Remane, J., 1986. Guidelines and statuses of the International Commission on stratigraphy (ICS). *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 83, 1-14.

Gradstein, F.M., Finney, S.C., Lane, R. & Ogg, J.G., 2003. ICS on stage. *Lethaia*, 36, 371-378.

Gradstein, F.M., Ogg, J.G., and Smith, A.G., Agterberg, F.P., Bleeker, W., Cooper, R.A., Davydov, V., Gibbard, P., Hinnov, L.A., House, M.R., Lourens, L., Luterbacher, H.P., McArthur, J., Melchin, M.J., Robb, L.J., Shergold, J., Villeneuve, M., Wardlaw, B.R., Ali, J., Brinkhuis, H., Hilgen, F.J., Hooker, J., Howarth, R.J., Knoll, A.H., Laskar, J., Monechi, S., Plumb, K.A., Powell, J., Raffi, I., Røphl, U., Sadler, P., Sanfilippo, A., Schmitz, B., Shackleton, N.J., Shields, G.A., Strauss, H., Van Dam, J., van Kolfshoten, T., Veizer, J., and Wilson, D., 2004. *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press, 589 pages.

Hedberg, H.D., 1965. Earth history and the record in the rocks. *Proc. Am.*

- Philosophical Soc.*, 107 (2), 99-104.
- Hedberg, H.D., 1976. *International stratigraphic guide. A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure.*- John Wiley & Sons, New York, 233 pp.
- Hedberg, H.D., ed., 1979. *Guide stratigraphique internationale. Classification, terminologie et règles de procédure.*- Doin Iditeurs, Paris, 233 pp (translated from English).
- Δερμιτζάκης, Μ.Δ., 1975. Βασικοί όροι και Κανόνες της Στρωματογραφικής Ταξινομήσεως. *Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών*, 72 σελίδες.
- Δερμιτζάκης, Μ.Δ. & Λέκκας, Σ., 1982. Διερευνώντας τη Γη. Εισαγωγή στη Γενική Γεωλογία. *Εκδόσεις Γ. Γκέλμπεση*, 593 σελίδες.
- Δερμιτζάκης, Μ.Δ., 2002. Λεξιλόγιο Παλαιοντολογικών Όρων. *Εκδόσεις Γ. Γκέλμπεση*, 1094 σελίδες.
- McLaren, D.J., 1977. The Silurian-Devonian Boundary Committee: a final report. In: Martinsson, A. (ed.): The Silurian-Devonian boundary, 1-34. *International Union of Geological Sciences Series A*, no 5, E. Schweizerbart'sche Verlagbuchhandlung, Stuttgart.
- Murphy, M.A., 1977. Ontime-stratigraphic units. *Journal of Paleontology*, 51, 213-219.
- Odin, G.S., 2001. Numerical age calibration of the Campanian-Maastrichtian succession at Tercis-les-Bains (Landes, France) and in the Bottaccione Gorge (Italy).- In: ODIN G.S. (ed.), Characterisation and correlation from Tercis-les-Bains (Landes, SW France) to Europe and other continents.- IUGS Special Publication (Monograph) Series 36; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 19, Elsevier, p. 775-782.
- Odin, G.S. & Lamaurelle, M.A., 2001. The global Campanian-Maastrichtina stage boundary. *Episodes*, 24, 229-238.
- Odin, G.S., Montanari, A. & Coccioni, R., 1997. Chronostratigraphy of Miocene stages : A proposal for the definition of precise boundaries. In: Montanari, A., Odin, G.S. & Coccioni, R. (eds): *Miocene stratigraphy: An integrated approach. Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 15, 597-629. Elsevier, Amsterdam.
- Ogg, J.G., 2004. Status of Divisions of the International Geologic Time Scale. *Lethaia*, 37, 183-199.
- Opdyke, N.D., Kent, D.V. & Lowrie, W., 1973. Details of magnetic polarity transitions recorded in a high deposition rate deep-sea core. *Earth and Atmospheric Science Letters*, 20, 315-324.
- Orbigny, A. d', 1849-1852. *Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphiques.*- Masson, Paris, 847 pp.
- Remane, J., 2003. Chronostratigraphic correlations: their importance for the definition of geochronologic units. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 196, 7-18.
- Remane, J., Bassett, M.G., Cowie, J.W., Gorbbrandt, K.H., Lane, H.R., Milchelson, O. & Wang, N., 1996. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission of Stratigraphy (ICS). *Episodes*, 19, 77-81.
- Shackleton, N.J., Hall, M.A., Raffi, I., Tauxe, L. & Zachos, J., 2000. Astronomical calibration age for the Oligocene-Miocene boundary.

- Geology*, 28, 447-450.
- Steininger, F.F., Aubry, M.-P., Berggren, W.A., Biolzi, M., Borsetti, A.M., Cartlidge, J.E., Cati, F., Corfield, R., Gelati, R., Iaccarino, S., Napoleone, C., Ottner, F., Roegl, F., Roetzel, R., Spezzaferri, S., Tateo, F., Villa, G. & Zevenboom, D., 1997. The global stratotype section and point (GSSP) for the base of the Neogene. *Episodes*, 20, 23-28.
- Strasser, A., Hilgen, F. J. & Heckel, P. H., 2006. Cyclostratigraphy – concepts, definitions, and applications. *Newsletters on Stratigraphy*, 42(2), 75–114
- Van Couvering, J.A., Castradori, D., Cita, M.B., Hilgen, F.J., and Rio, D., 2000. The base of the Zanclean Stage and of the Pliocene Series. *Episodes*, 23, 179-187.
- Walsh, S.L., 2004. Solutions in chronostratigraphy: The Paleocene/Eocene boundary debate, and Aubry vs. Hedberg on chronostratigraphic principles. *Earth-Science Reviews*, 64, 119-155.
- Walsh, S.L., Gradstein, F.M. & Ogg, J.G., 2004. History, philosophy, and application of the Global Stratotype Section and Point (GSSP). *Lethaia*, 37, 201-218.