

Ο ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ, ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΓΗ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΖΩΙΚΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ.

Στην καθημερινή ζωή ο χρόνος σημαίνει λεπτά, ώρες, μήνες, χρόνια, δεκαετίες. Η ιστορία των άμεσων προγόνων μας ανάγεται γύρω στα 100 χρόνια πίσω. Αυτή είναι η ανθρώπινη εμπειρία του χρόνου. Η ιστορική μας μνήμη επεκτείνεται σε αιώνες και μερικές μόνο χιλιάδες χρόνια. Για ένα γεωλόγο η κλίμακα χρόνου είναι της τάξης δεκάδων ή εκατοντάδων χιλιάδων χρόνων και κυρίως εκατομμυρίων και δισεκατομμυρίων. Αυτό πραγματοποιήθηκε σταδιακά μετά από μια μεγάλη πορεία αναζήτησης, όπως δείχνει η ιστορία της γεωλογικής σκέψης. Οι γεωλόγοι έχουν αναπτύξει μεθόδους χρονολόγησης και ταξινόμησης των γεωλογικών συμβάντων και της εξέλιξης της ζωής, σε λογικές χρονικές σειρές, βασισμένες πάνω σε σχετικές ή απόλυτες ηλικίες πετρωμάτων και απολιθωμάτων. Συνειδητοποίησαν την πάρα πολύ μεγάλη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου, αλλά δεν μπορούσαν στην αρχή να τον προσδιορίσουν απόλυτα. Για να επιτύχει η γεωλογία την απόλυτη χρονολόγηση πετρωμάτων και κατά συνέπεια των γεωλογικών γεγονότων στηρίχθηκε στις μεγάλες προόδους της φυσικής. Έτσι όλο εκείνο το μεγάλο χρονικό διάστημα των γεωλογικών διεργασιών, που υποψιάζονταν ή προσπαθούσαν να αποδείξουν έμμεσα οι μεγάλοι στοχαστές του 19^{ου} αιώνα, προσδιορίστηκε με ακρίβεια στον 20^ο αιώνα. Η επανάσταση της ραδιοχρονολόγησης ξεκίνησε με το φυσικό Bertam Boltwood (1905), συνεχίστηκε με τον Άγγλο καθηγητή γεωλογίας Χόλμς (Arthur Holmes) του πανεπιστημίου του Darham, (1920) και ολοκληρώθηκε με τον Αμερικανό ερευνητή J. Paterson του πανεπιστημίου του Σικάγου και του Caltech (Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας) το 1952. Η νέα αυτή μέθοδος έδωσε σαφείς απόλυτες χρονολογήσεις και έδειξε το μεγάλο βάθος του γεωλογικού χρόνου. Για πρώτη φορά έγινε γνωστή η ηλικία της Γης (4,6 δισεκατομμύρια χρόνια με σφάλμα πάνω-κάτω μόνο 70 εκατομμύρια χρόνια) και τα πετρώματα άρχισαν πια να χρονολογούνται το ένα μετά το άλλο, ενώ ο άνθρωπος και το παρελθόν του μικραίνουν πάρα πολύ. Όλα αυτά καθιερώθηκαν μόλις τα τελευταία πενήντα χρόνια, δηλαδή μόλις δύο-τρεις γενιές μορφωμένων ανθρώπων είναι εξοικειωμένες με τη μεγάλη ηλικία της

Γης, η οποία δεν παύει ταυτόχρονα να είναι νεαρή ηλικιακά στην χρονική κλίμακα του σύμπαντος και εξαιρετικά δραστήρια.

Η ανακάλυψη των ραδιενεργών ισοτόπων δεν ήταν μόνο μια επανάσταση στη φυσική αλλά και στη γεωλογία. Αργότερα αποδείχθηκε ότι είχαν μεγάλη επίδραση και στην κοινωνία, όταν αυτή γνώρισε τις εφαρμογές τους, πολεμικές πρώτα και ειρηνικές αργότερα. Ο ρυθμός διάσπασης του ουρανίου (U^{238}) σε μόλυβδο (Pb^{206}), του θορίου (Th^{232}) σε μόλυβδο (Pb^{208}), του καλίου (K^{40}) σε αργό (Ar^{39}), του άνθρακα (C^{14}) σε άνθρακα (C^{12}) και πολλών άλλων έδωσαν τα απαραίτητα «ρολόγια» των ορυκτών και πετρωμάτων που χρειαζόταν η γεωλογία για να μετρά τον ασύλληπτα μεγάλο χρόνο της. Για παράδειγμα το μισό της ποσότητας του ουρανίου, που βρίσκεται σε ένα πέτρωμα, για να μετατραπεί σε μόλυβδο χρειάζεται 4.680 εκατομμύρια χρόνια, ενώ το μισό του άνθρακα 14 που βρίσκεται σε ένα υπόλειμμα οργανισμού ή στο έδαφος για να μετατραπεί σε άνθρακα 12 χρειάζεται μόνο 5.730 χρόνια. Έτσι μετρούμε την απεραντοσύνη του γεωλογικού χρόνου, ενός χρόνου αδιανόητου σε πρώτη προσέγγιση για τις δυνατότητες του ανθρώπινου μυαλού. Οι μέθοδοι πολλαπλασιάστηκαν σήμερα και τα σφάλματα ή οι αβεβαιότητες της μιας μεθόδου συμπληρώνονται και διορθώνονται από μια άλλη. Στην απεραντοσύνη αυτού του χρονικού διαστήματος που έζησε ο πλανήτης μας, σχεδόν τα πάντα μπορεί να συμβούν και όντως συνέβησαν.

Η μελέτη και συνειδητοποίηση του γεωλογικού χρόνου από τον άνθρωπο σήμερα δίνει μια άλλη σημαντική διάσταση στην ανθρώπινη σκέψη για τη διαχρονική κατανόηση του περιβάλλοντος, τη μεταβλητότητα και ποικιλομορφία του, και την ιστορική πορεία του ανθρώπου μέσα σ' αυτό. Ίσως αποτελεί τη σημαντικότερη συμβολή της γεωλογίας στη σύγχρονη σκέψη. Αρκεί να σκεφτούμε ότι τον 5^ο αιώνα μ. Χ. ο μοναχός Πανόδωρος υπολόγιζε την αρχή δημιουργίας του κόσμου σε 5493 χρόνια....., ότι το χρονολογικό σύστημα της Κωνσταντινούπολης δέχθηκε κατά τον 8^ο αιώνα ως έτος κτίσης του κόσμου την 1^η Σεπτεμβρίου του 5508 π. Χ.. Αν αναλογιστούμε επίσης και τη σχετικά κοντινή εποχή του Αρχιεπίσκοπου του Armagh, Άσερ, (James Ussher) στα μέσα του 17^{ου} αιώνα, όταν προσδιοριζόταν η ηλικία της Γης από το 4004 π. Χ. και του Δρ. Λάιφφουτ (John Lightfoot), που υπολόγιζε την αρχή της Δημιουργίας του κόσμου στις 23 Οκτωβρίου 9^η πρωινή του 4004

π. Χ. , τότε συνειδητοποιούμε ότι μόλις στα μέσα του 19^{ου} αιώνα αρχίσαμε να καταλαβαίνουμε τη γεωλογική χρονολογική κλίμακα σε εκατομμύρια και εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια. Η εποχή αυτή άλλαξε ριζικά την αντίληψη μας για την ηλικία της Γης. Αν και υπήρχαν κάποιες νύξεις από φιλοσόφους της αρχαιότητας και της Αναγέννησης για μεγάλη ηλικία του πλανήτη μας, κανείς δεν διέθετε τις γνώσεις και τα μέσα για να την υπολογίσει και κανείς δεν μπορούσε να φαντασθεί πόσο μεγάλη ήταν. Φαινόταν ότι είναι έξω από τις ανθρώπινες δυνατότητες.

Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα ένας διαπρεπής Βρετανός φυσικός, Ιρλανδικής καταγωγής, ο William Thomson, γνωστός ως λόρδος Κέλβιν (Kelvin 1824-1907), έκανε μια μαθηματική προσπάθεια για να υπολογίσει την ηλικία της Γης στηριζόμενος στην επικρατούσα θεωρία της εποχής του, τη θερμοδυναμική. Ο Kelvin, θεμελιωτής του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής, επιστημονική αυθεντία της εποχής του, κάτι σαν Νεύτωνας ή Αϊνστάιν, πίστευε ότι όλες οι φυσικές μεταβολές πρέπει να θεωρούνται ενεργειακά φαινόμενα. Υπέθεσε την αρχική Γη ως αέρια θερμή μάζα και το πρωτοφλοιό σε κατάσταση τήξης και στηριζόμενος στο ρυθμό ψύξης της και από τη σημερινή θερμοβαθμίδα, υπολόγισε ηλικίες του πλανήτη μας 20 με 40 εκατομμύρια χρόνια. Μέχρι την ανακάλυψη των ραδιενεργών στοιχείων στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, λίγο πριν το θάνατό του, κέρδιζε στους κύκλους των επιστημόνων η άποψη της αυθεντίας ότι η Γη είναι ηλικίας μόλις 24 εκατομμυρίων χρόνων. Πολύ μεγάλη για τις αντιλήψεις της εποχής, πάρα πολύ μικρή για το σημερινό επίπεδο των γνώσεων μας. Αντίθετα, χοντρικοί υπολογισμοί από γεωλόγους με τους ρυθμούς απόθεσης ιζημάτων, όπως εκείνη που περιγράφει ο Δαρβίνος με την ιδιότητά του ως γεωλόγου στην «Καταγωγή των Ειδών», ανέβαζαν την ηλικία του πλανήτη μας σε 300 εκατομμύρια χρόνια, ένας αριθμός ρεαλιστικός για το πάχος των παρατηρούμενων ιζημάτων μιας κοιλάδα στη νότια Αγγλία, από τα οποία έκανε τους υπολογισμούς του, όχι όμως και για την πραγματική ηλικία της Γης. Ο λανθασμένος υπολογισμός του διαπρεπέστερου φυσικού επιστήμονα της εποχής του επεκράτησε, όπως συνήθως συμβαίνει, έναντι των «χοντροειδέστερων» υπολογισμών των γεωλόγων.

Η «ζωή» στο γεωλογικό αρχείο

Τι αποδείξεις έχουμε σήμερα για τη ζωή του απώτερου παρελθόντος; Τι είναι αυτά τα απομεινάρια της ζωής μέσα στα πετρώματα, που ονομάζουμε σήμερα απολιθώματα; δηλαδή πετροποιημένα υπολείμματα οργανισμών του παρελθόντος; Ποια είναι η συμβολή της Παλαιοντολογίας στην κατανόηση του γεωλογικού χρόνου και της εξέλιξης των ειδών;

Ήδη από τον 5^ο π.Χ. αιώνα ο Δημόκριτος θεωρούσε ότι η οργανική φύση εμφανίστηκε σε μια ορισμένη βαθμίδα της εξελικτικής διαδικασίας της ύλης, όταν σχηματίστηκαν οι πρώτες μορφές συγκροτημένης ύλης, όπως εκείνος τις νόμιζε: γη, νερό, φωτιά και αέρας και μαζί τους και ο κόσμος μας. Πολύ χαρακτηριστικά περιγράφει ο Λουκρήτιος, Ρωμαίος επικούρειος ποιητής του 1^{ου} μ. Χ. αιώνα, στο ποίημα του «Για τη Φύση των Πραγμάτων» (De Rerum Natura) τη βαθύτερη και ουσιαστική σημασία της εξέλιξης της ζωής και της εξαφάνισης των ειδών, όπως συμπερασματικά θα μπορούσε να το συνοψίσει η επιστήμη της Παλαιοντολογίας σήμερα : *«Χάθηκαν τότε πολλά είδη ζώων, από ανάγκη, καθώς δεν μπόρεσαν να πολλαπλασιαστούν και να διατηρήσουν τη γενιά τους. Γιατί ότι πλάσματα βλέπουμε σήμερα ν' ανασαίνουν τον ζωοδότη αέρα, τα ίδια εξασφάλισαν την επιβίωση τους, απ' την αρχή ακόμα, θες με την εξυπνάδα τους, θες με την γενναιότητα ή, με τη γρηγοράδα τους»*. Φυσική επιλογή θα προσθέταμε σήμερα. Ενώ ο ίδιος ο Επίκουρος γράφει *«Πόσο δίκαια δόθηκε στη γη το όνομα μητέρα....Όλα τα πλάσματα μέσα απ' αυτήν ξεπήδησαν..... Λιγότερο είναι ν' απορείς που στα παλιά τα χρόνια γεννήθηκαν περισσότερα και μεγαλύτερα πλάσματα κι αναπτύσσονταν τότε που η γης κι ο αιθέρας ήταν ακόμη νέοι...»*. Ενώ ο κόμης Μπουφόν (Buffon 1707-1788), έγραφε ότι *«.....Παράξενα πετροποιημένα κόκκαλα ανακαλύπτονται, που δείχνουν ότι υπήρξαν εξαφανισμένες μορφές ζωής που δεν υπάρχουν σήμερα....»*. Πέρα από αυτές τις πολύ πρώιμες αντιλήψεις για τα απολιθώματα και τη μεταβλητότητα της ζωής, σήμερα επιστημονικά βρισκόμαστε σε ένα πολύ ικανοποιητικό δρόμο με εκατομμύρια δεδομένα από το αρχείο των πετρωμάτων για την εξερεύνηση του παρελθόντος της ζωής και της διερεύνησης του μέλλοντός της.

Η ιστορία της Γης και της ζωής είναι από τα πιο συναρπαστικά, αλλά και τα πιο δύσκολα προβλήματα που αντιμετωπίζει η επιστήμη. Η γεωλογική ιστορία της εξέλιξης του πλανήτη μας και η ιστορία της εξέλιξης της ζωής διήρκεσαν δισεκατομμύρια χρόνια. Η προσπάθεια για την αναπαράστασή τους γίνεται από μερικά σκόρπια παλαιοντολογικά «αρχεία», τα οποία γίνονται όλο και περισσότερο σπάνια ή σκοτεινά, όσο προχωράμε βαθύτερα μέσα στο χρόνο. Η επιστήμη που μελετά τα λιθοποιημένα σώματα, δηλαδή τα απολιθώματα οργανισμών ή τμήματά τους ή σπανιότερα διατηρημένους οργανισμούς ή ακόμη και τα αποτυπώματά τους είναι η **Παλαιοντολογία**. Ο πρώτος που έγραψε συστηματική μελέτη για τον τρόπο της λιθοποίησης και τη φύση των απολιθωμάτων ήταν ο Θεόφραστος στο βιβλίο του «*Περί των Λιθουμένων*», που δυστυχώς χάθηκε.

Τα σπουδαιότερα στοιχεία για την ανασύσταση του γεωλογικού χρονικού, πηγάζουν από τα ίδια τα πετρώματα, από τον τρόπο δημιουργίας των ορυκτών τους, τις μεταβολές τους και κυρίως τα απολιθώματα οργανισμών που βρίσκονται μέσα σε ορισμένα από αυτά. Με τέτοια και άλλα γεωλογικά και παλαιοντολογικά δεδομένα, το μεγάλο χρονικό διάστημα της ιστορίας της Γης διαιρέθηκε με βάση μικρές ή μεγαλύτερες γεωλογικές αλλαγές σε γεωλογικούς αιώνες, περιόδους, υποπεριόδους, εποχές και βαθμίδες. Καθορίστηκε μια λογική σειρά και αλληλουχία γεωλογικών γεγονότων και έχουμε σήμερα μια χρονολογική πυξίδα του απώτερου παρελθόντος ως έναν ευρέως αποδεκτό πίνακα γεωλογικών αιώνων, περιόδων, υποπεριόδων εποχών και βαθμίδων. Για τον καθορισμό της σχετικής τους ηλικίας και της στρωματογραφικής τους αλληλουχίας χρησιμοποιούνται ευρέως ορισμένα μόνο από τα πολλά είδη απολιθωμάτων, τα ονομαζόμενα *χαρακτηριστικά απολιθώματα*, που αντιστοιχούν σε ζωικούς οργανισμούς οι οποίοι εξαπλωθήκαν σημαντικά στην επιφάνεια της γης, αλλά για κάποιους λόγους γρήγορα εξαφανίστηκαν από το προσκήνιο της ιστορίας της εξέλιξης. Για τον καθορισμό της απόλυτης ηλικίας των πετρωμάτων, της διάρκειας των αιώνων, περιόδων και εποχών χρησιμοποιούνται με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια διάφορες μέθοδοι ραδιοχρονολόγησης.

Η εξέλιξη του γήινου φλοιού από τη δημιουργία του μέχρι σήμερα και οι μορφές ζωής που φιλοξένησε εξετάζονται μέσα στο πλαίσιο της **Ιστορικής Γεωλογίας**. Η Ιστορική Γεωλογία είναι μία από τις μεγάλες υποδιαιρέσεις της

γεωλογίας. Η γεωλογία ως «ιστορική επιστήμη», μόνη αυτή από τις φυσικές επιστήμες, πραγματεύεται ουσιαστικά την ανασύσταση της πορείας του πλανήτη μας μέσα στο χρόνο. Από το μεγάλο όγκο πληροφοριών που έχουν συγκεντρωθεί μέχρι σήμερα με τη συστηματική επιστημονική έρευνα, θα επιχειρηθεί στις επόμενες σελίδες να δοθούν λίγα βασικά στοιχεία για δυο μεγάλους σταθμούς της εξέλιξης της ζωής: πρώτα για το ξεκίνημά της και ύστερα για ένα από τα τελευταία στάδια της εξέλιξης, την παλαιοντολογία του είδους μας, του ανθρώπου.

Τα πρώτα ίχνη ζωής στον πλανήτη μας

Από την περίοδο του Καμβρίου και μετά έχουμε ένα μεγάλο πλήθος απολιθωμάτων, με τα οποία μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη «γρήγορη» οργανική εξέλιξη των ειδών. Για το λόγο αυτό θεωρείται σημαντικός σταθμός της ιστορίας της εξέλιξης. Το *Κάμβριο* είναι η πρώτη περίοδος του αιώνα της παλιάς ζωής, του ονομαζόμενου διεθνώς *Παλαιοζωϊκού αιώνα* από την αντίστοιχη ελληνική σύνθετη λέξη. Πήρε το όνομά της από το ρωμαϊκό όνομα της Ουαλίας, όπου για πρώτη φορά μελετήθηκαν πετρώματα με τα αντίστοιχα απολιθώματά τους. Ξεκίνησε πριν από 550-600 εκατομμύρια χρόνια και διήρκεσε σχεδόν 100 εκατομμύρια χρόνια.

Οι μεγα-αιώνες του Προκαμβρίου, *Αζωικός (Azoic)* ή *Προτεροζωϊκός (Proterozoic)* και *Αρχαιοζωϊκός (Archaean)* καλύπτουν το μεγάλο χρονικό διάστημα της Γης. Ο επόμενος μεγα-αιώνας ο *Φανεροζωϊκός (Phanerozoic)* διατρέχει μόλις τα τελευταία 550 εκατομμύρια χρόνια. Φανεροζωϊκός ονομάζεται γιατί μέσα σ' αυτόν τον αιώνα εμφανίστηκε (φανερώθηκε) η ζωή στην ξηρά και έδωσε πλήθος αποδείξεων. Ο Φανεροζωϊκός μεγα-αιώνας χωρίζεται σε τρεις μεγάλες διακριτές περιόδους, τον *Παλαιοζωϊκό αιώνα*, δηλαδή την περίοδο των παλαιών μορφών ζωής, το *Μεσοζωϊκό*, την περίοδο του μεσοδιαστήματος της ζωής, και τον *Καινοζωϊκό*, τον αιώνα της νέας πια ζωής. Η ονοματολογία τους και στην αγγλική (Palaeo-, Meso-, Ceno-zoic) και σε όλες τις γλώσσες του κόσμου στηρίζεται στις αντίστοιχες ελληνικές λέξεις (όπου καινούς σημαίνει καινούργιος). Ένα άλλο χαρακτηριστικό και ενδεικτικό της μεγάλης σημασίας της ζωής στις γεωλογικές διεργασίες είναι ότι η

γεωλογική ηλικία της Γης χωρίζεται με βάση τις μορφές της ζωής του παρελθόντος.

Ο Lyell, ο οποίος θεωρούσε μεγάλο σταθμό της εξέλιξης της ζωής και της Γης την εξαφάνιση των ερπετών, πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια, χώρισε τον αιώνα της καινούργιας ζωής, τον Καινοζωικό, ουσιαστικά τον αιώνα της κυριαρχίας των θηλαστικών, ως ακολούθως: *Παλαιόκαινο*, την εποχή της παλιότερης ζωής των νέων ειδών, *Ολιγόκαινο*, την λίγο πιο πρόσφατη ζωή, *Μειόκαινο* την σχετικά πρόσφατη, *Πλειόκαινο* την πιο πρόσφατη και τέλος *Πλειστόκαινο*, την πλέον σύγχρονη με τις νεότερες μορφές ζωής των τελευταίων 2 εκατομμυρίων χρόνων.

Η παλαιοντολογία για μεγάλο χρονικό διάστημα ασχολούνταν με τη μελέτη των απολιθωμάτων από το Κάμβριο μέχρι σήμερα και ονόμασε τις πριν από το Κάμβριο μεγάλες χρονικές περιόδους, *Αζωϊκό* ή *Αρχαιοζωϊκό* και *Κοσμικό* αιώνες, επειδή δεν μπορούσε να βρει απολιθώματα στα πετρώματα των περιόδων αυτών. Σήμερα όμως που ανιχνεύονται ίχνη ζωής και στα λιγοστά πετρώματα αυτών των περιόδων, ονομάζονται *Προτεροζωϊκός* και *Αρχαϊκός* αιώνας, δηλαδή μεγάλες χρονικές περίοδοι των πρώτων και αρχικών σταδίων και σκιρτημάτων της ζωής. Πάντως δεν έχουν εξιχνιασθεί τα γεγονότα εκείνα του μακρινού παρελθόντος, που να δίνουν μια ικανοποιητική απάντηση για το ξεκίνημα της ζωής στον πλανήτη μας.

Η πριν από την κάμβρια εποχή περίοδος, γνωστή και ως *Προκάμβριο*, είναι η μεγαλύτερη χρονικά περίοδος της γεωλογικής ιστορίας της Γης. Αρχίζει με τη στερεοποίηση του φλοιού της (4,0 - 4,2 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου) και φτάνει μέχρι τα 600 εκατομμύρια χρόνια, ξεπερνά δηλαδή σε διάρκεια τα 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Προκαμβριανής ηλικίας πετρώματα εμφανίζονται σε πολλές περιοχές της Γης, στο εσωτερικό κυρίως των ηπείρων, και αποτελούν κατά κάποιο τρόπο τους πυρήνες των σημερινών ηπείρων. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως μεταμορφωμένα ή ημιμεταμορφωμένα. Τα μεταμορφωμένα πετρώματα, επειδή υπέστησαν πολλές αλλαγές κάτω από υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, σβήνουν συνήθως τα ίχνη ζωής, που πιθανά περιείχαν. Παρ' όλα αυτά, σε σχετικά μη μεταμορφωμένα ιζηματογενούς προέλευσης πετρώματα του Προκάμβριου ανακαλύπτονται μικροαπολιθώματα με τη βοήθεια ισχυρών μικροσκοπίων και κυρίως του ηλεκτρονικού.

Προκάμβρια απολιθώματα βρέθηκαν κατά καιρούς σποραδικά και περιγράφηκαν, αλλά η συγγένεια και η συσχέτισή τους με άλλες ομάδες παρέμεινε αδιευκρίνιστη. Ένα τέτοιο απολίθωμα είναι το φύκος *Corycium enigmaticum* (κορύκιον = μακρός σάκκος), που βρέθηκε σε φυλλιτικά (μεταμορφωμένα) πετρώματα της Φιλανδίας, προκαμβριανής ηλικίας από το Φιλανδό γεωλόγο I. Sedrholm, ακόμη από το 1897. Η ραδιοχρονολόγηση που έγινε αργότερα έδειξε ότι τα πετρώματα που το περιείχαν έχουν ηλικία 1,5 δισεκατομμύρια χρόνια.

Δεν έλειψαν επίσης και τα λάθη, στη δύσκολη αυτή προσπάθεια της αναζήτησης των πρώτων μορφών ζωής. Έτσι μεγάλο ενδιαφέρον συγκεντρώθηκε και πολλές επιστημονικές συζητήσεις έγιναν γύρω από την υποτιθέμενη απολιθωμένη αποικία ενός πρωτόζωου, που βρέθηκε μέσα σε γνευσιακά πετρώματα του Καναδά, ηλικίας κατώτερου Προκάμβριου. Το «απολίθωμα» αυτό ονομάστηκε Ηώζωο καναδικό (*Eozoon canadense*), από την ελληνική λέξη ηώς που σημαίνει αυγή. Θεωρήθηκε δηλαδή το απολίθωμα της αυγής της ζωής. Η Ηώς ήταν αρχαιοελληνική θεά του πρώτου φωτός της ημέρας, αδελφή του Ήλιου. Θεωρείται πηγή και σύμβολο της ζωής. Πολύ εύστοχα χρησιμοποιήθηκε το όνομα, αλλά και η θεϊκή της υπόσταση, στην προσπάθεια να ονομαστεί ο πρώτος γνωστός οργανισμός του πλανήτη μας. Τελικά, αποδείχθηκε αργότερα ότι ήταν συγκέντρωση ανόργανης ύλης που δεν είχε καμιά σχέση με ζωντανό οργανισμό και χάθηκε έτσι μια πρώτη ευκαιρία για να χρησιμοποιηθεί αυτή η θαυμάσια ελληνική λέξη, που έδινε και ποιητικό περιεχόμενο στη συναρπαστική εξερεύνηση του ξεκινήματος της ζωής. Αργότερα δόθηκε μια δεύτερη ευκαιρία να ξαναχρησιμοποιηθεί η λέξη σε ένα πρωτόγονο βακτήριο και σε μια άλλη γεωλογική εποχή, την *Ηώκαινη* (=ξεκίνημα μιας καινούργιας περιόδου, Eocene) πριν από 50 εκατομμύρια χρόνια, όπως και ο όρος *Ηωκάμβριο*, που αναφέρεται στο ξεκίνημα της μεγάλης εξάπλωσης της ζωής πριν από 600 εκατομμύρια χρόνια.

Τελευταία, με τη βοήθεια καινούργιων τεχνικών, τη χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, τη λεπτομερέστατη γεωλογική μελέτη των προκαμβριανών σχηματισμών και τη βοήθεια της ραδιοχρονολόγησης, έγινε δυνατό να βρεθούν και να προσδιορισθούν καινούργια γένη και είδη μικρο- και νανο- απολιθωμάτων, να συσχετισθούν μεταξύ τους και να καθορισθούν σε γενικές γραμμές οι δρόμοι της εξέλιξής τους. Παράλληλα, η προζωϊκή χημεία

μελετά τα στάδια της χημικής εξέλιξης, που προηγήθηκαν της οργανικής και η οργανική γεωχημεία αναζητά στα πετρώματα διαφόρων ηλικιών μοριακά υπολείμματα ζώντων οργανισμών. Μ' αυτόν τον τρόπο, άρχισε να διευκρινίζεται σιγά-σιγά η ιστορία της ζωής στα πρώτα της στάδια, ουσιαστικά μερικά μόνο κομμάτια, που ανακαλύπτονται σποραδικά από αυτό το τεράστιο πάζλ. Η ανακατασκευή του από τα λιγοστά του κομμάτια μόνο εικασίες και υποθέσεις μας επιτρέπει να κάνουμε για την ώρα. Η ορθολογιστική επιστημονική σκέψη, η συνέχιση της παλαιοντολογικής έρευνας, η λογική αλληλουχία των γεγονότων σε συνδυασμό με τη φαντασία μας δίνουν τη δυνατότητα, έστω και με τα λίγα αυτά στοιχεία, να αναπλάθουμε έστω και μερικά από τα πρώτα συμβάντα της εξελικτικής πορείας της ζωής και κυρίως να γνωρίζουμε τους μεγάλους σταθμούς, τα μεγάλα άλματά της. Τα πρώτα συμπεράσματα από τη μελέτη των λιγοστών πετρωμάτων του πρωτοφλοιού, όπως ορισμένα της Γροιλανδίας και της Ζιμπάμπουε, δίνουν τη δυνατότητα να αναπλασθεί σε πολύ αδρές γραμμές η σύσταση του πρωταρχικού φλοιού και της ατμόσφαιρας. Η αραιότατη πρωτόγονη ατμόσφαιρα δηλητηριωδών αερίων, με υψηλές θερμοκρασίες, βομβαρδισμό μετεωριτών, με όξινη βροχή, μόνο συνθήκες για την ανάπτυξη ζωής δεν ευνοούσαν. Και όμως, η νέα έκφραση της ύλης αυτού του αφιλόξενου πλανήτη, η ζωή, δημιουργήθηκε ! Κατά τον Αναξίμανδρο τον Μιλήσιο (5^{ος} αιώνας π. Χ.) η ζωή δημιουργήθηκε στο νερό. Το ίδιο πίστευε και ο Όμηρος «... Ωκεανόν όσπερ γέννεσις πάντεσσι τέτυκται...», τα πάντα γεννήθηκαν στον ωκεανό.

Ο πρώτος μεγάλος σταθμός στην εξέλιξη της ζωής είναι το πέρασμα από την "αβιοτική χημική εξέλιξη" στην οργανική. Εκατομμύρια χρόνια θα πρέπει να διήρκεσε η εποχή της χημικής εξέλιξης, μέχρις ότου τυχαία οργανικά μόρια συγκεντρώθηκαν και δημιούργησαν ένα ζωντανό οργανισμό. Ο πρώτος αυτός τύπος ζωής ονομάστηκε από το Ρώσο βιοχημικό Οπάριν (A. Oparin 1894-1980) με τα πειράματά του 1920-1924 «πρωτόβιο». Απολιθώματα πρωτόβιων δεν βρέθηκαν μέχρι σήμερα και ίσως δεν θα μπορέσουν να βρεθούν ποτέ. Τα πειράματα του Αμερικανού Miller (1953) συνεχιστήκαν και από άλλους χημικούς και βιοχημικούς αργότερα, μεταξύ των οποίων και του διάσημου Αμερικανού αστροβιολόγου Σάγκαν (Carl Edward Sagan 1934-1997), ο οποίος προσπάθησε να παράγει αμινοξέα, τα θεμελιώδη μόρια της ζωής, από ένα μίγμα μεθανίου, αμμωνίας, νερού και

υδρόθειου με την επίδραση υπεριώδους φωτός, μιμούμενος δηλαδή τις αρχικές συνθήκες της γήινης ατμόσφαιρας. Οι ευφυείς και πρωτοπόρες αυτές προσπάθειες για το μεγάλο πρόβλημα της αρχικής δημιουργίας της ζωής παραμένουν ισχυρές επιστημονικές υποθέσεις, δεν μπορούν όμως να τεκμηριώσουν πειστικά το μεγάλο άλμα της αρχής της ζωής, γι' αυτό αφήνουν και πολλά περιθώρια για άλλες υποθέσεις, αυθαίρετες πολλές φορές, όπως της πανσπερμίας. Κοσμική πανσπερμία με βομβαρδισμό οργανικών μεγαλομορίων από το διάστημα, κατευθυνόμενη πανσπερμία από ορισμένες περιοχές του διαστήματος, λογικά κατευθυνόμενη μετανάστευση ζωής, εξωγήινοι και αχαλίνωτη ανθρώπινη φαντασία, που ως σύγχρονη μυθοπλασία, ονομάζεται επιστημονική.

Η οργανική γεωχημεία προσπαθεί με αναλύσεις πετρωμάτων να βρει «μοριακά απολιθώματα» δηλαδή ενώσεις ειδικής χημικής αρχιτεκτονικής (π.χ. φυτένιο ή μεθάνιο) και προχωρώντας βαθιά μέσα στο χρόνο να φτάσει σε μια εποχή, όπου τα οργανικά αυτά συστατικά να μην είναι πια υπολείμματα ζώντων οργανισμών, αλλά μάλλον πρόδρομα ζώντων οργανισμών. Η προζωϊκή χημεία και η αστροφυσική ακολουθούν αντίθετο δρόμο. Ξεκινούν από την άλλη άκρη, δηλαδή τη Γη, με την πρωταρχική της μορφή πριν από 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια περίπου και προσπαθούν να προσδιορίσουν ποια ήταν η φύση της ατμόσφαιρας της, τις χημικές της μεταβολές, τις επιδράσεις που δεχόταν από κοσμικές ακτινοβολίες, ραδιενέργεια κ.λπ.. Προχωρούν ακόμη περισσότερο με πειράματα στο εργαστήριο, που αναπαριστούν τις συνθήκες εκείνης της εποχής. Τελευταία, αποδείχθηκε ότι σε ορισμένες «άδειες» περιοχές του διαστήματος σχηματίζονται ενώσεις όπως το *υδροξύλιο* (OH), *μονοξείδιο του άνθρακα* (CO), *αμμωνία* (NH₃), *υδροκυάνιο* (HCN) και *φορμαλδεΰδη* (HCHO). Μια πιο σπουδαία ανακάλυψη είναι ότι σε ορισμένους μετεωρίτες, τους *χονδρίτες*, βρέθηκαν ίχνη αμινοξέων, που δεν υπάρχουν σε γήινες μορφές ζωής. Οι ενδείξεις αυτές πολλαπλασιάζουν τα ερωτήματα και δημιουργούν ένα καινούργιο πρόβλημα, αν δηλαδή η ζωή εμφανίστηκε από την αρχή στον πλανήτη μας ή ήλθε από το διάστημα. Η ύπαρξη ιχνών αμινοξέων σε μετεωρίτες είναι ένδειξη ότι υπάρχουν μορφές ζωής και σε άλλες γωνιές του σύμπαντος. Η ανίχνευση όμως διαφορετικών αμινοξέων από αυτά που γνωρίζουμε στη Γη συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι η ζωή στον

πλανήτη μας είναι ξεχωριστή, η βιοχημεία της μάλλον διαφέρει αρκετά από τις άλλες μορφές του σύμπαντος κόσμου.

Η ιδέα της μεταφοράς της ζωής ή καλύτερα των πρωταρχικών δομικών στοιχείων της έξω από τη Γη, δεν απαντά στο ερώτημα πώς δημιουργήθηκε η ζωή και απλά μεταθέτει το πρόβλημα. Η άποψη αυτή έχει πολλούς υποστηρικτές και φυσικά αποτελεί πολύ λογικό πρόβλημα προς επιστημονική διερεύνηση. Επίσης εξάπτει την φαντασία της παραεπιστήμης. Αυτοί που την διατυπώνουν δεν μπορούν να απαντήσουν ικανοποιητικά σε πολλά ερωτήματα, όπως για παράδειγμα πώς είναι δυνατόν να ταξιδεύουν ίχνη ζωής, έστω και οργανικά μεγαλομόρια, σε ένα εντελώς αφιλόξενο ενδοαστρικό χώρο, με θερμοκρασίες που πλησιάζουν το απόλυτο μηδέν και με επικίνδυνες ακτινοβολίες όλων των ειδών. Γι' αυτό «εφευρέθηκαν» αργότερα οι τεχνητές κάψουλες, που προστάτευαν τα οργανικά υλικά και που τις εκτόξευε ένας πολύ εξελιγμένος πολιτισμός, πριν από 3 με 4 δισεκατομμύρια χρόνια !

Τελικά, κανείς δεν είναι σε θέση να απαντήσει καταφατικά ή αρνητικά στο θέμα αυτό, αλλά όπως προκύπτει από τα μεθεπόμενα στάδια της εξέλιξης του πλανήτη και της αλληλένδετης με αυτόν ζωής, διαφαίνεται ότι η ζωή είναι μάλλον «γέννημα και θρέμμα» αυτού του πλανήτη, είναι αναπόσπαστο δομικό και λειτουργικό κομμάτι του. Ως προϊόν του έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που πέρα από όποιες ομοιότητες με πιθανή εξωγήινη ζωή, θα πρέπει να έχει πολλές διαφορές που να την καθιστούν μοναδική. Η ζωή όπως την γνωρίζουμε είναι πολύ γήινη.

Η περίοδος κατά την οποία άρχισε η οργανική εξέλιξη προσδιορίζεται σε 3-4 δισεκατομμύρια χρόνια. Με χημικές αναλύσεις πετρωμάτων και τη μέθοδο της αέριας - υγρής χρωματογραφίας για το διαχωρισμό των υδρογονανθράκων, προσδιορίστηκε οργανική ύλη που προήλθε από ζωντανούς οργανισμούς σε πετρώματα ηλικίας που ξεπερνά τα 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Πρόσφατα (2006), μια ομάδα νέων γεωλόγων ερευνητών από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο του Τόκυο ανακοίνωσε από τις σελίδες του περιοδικού «Nature» μια νέα σημαντική ανακάλυψη για τα πρώτα βήματα της ζωής στον πρωτόγονο πλανήτη μας. Μέσα σε υγρά εγκλείσματα (H_2O-CO_2) της τάξης 5-6 μικρομέτρων, σε ηφαιστειακές φλέβες ημιμεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αυστραλίας, ηλικίας 3,5 δισεκατομμυρίων χρόνων, βρέθηκαν ίχνη μεθανίου οργανικής προέλευσης.

Πιστεύεται ότι είναι τα οργανικά υπολείμματα κάποιων πολύ πρωτόγονων οργανισμών και συγκεκριμένα βακτηρίων, αντίστοιχων με σημερινά μεθανογενετικά βακτήρια. Αν αυτά τα βακτήρια υπήρχαν πραγματικά, σε εκείνο το αφιλόξενο περιβάλλον των 3 με 3,5 δισεκατομμυρίων ετών, είναι ιδιαίτερα πιθανό να παρήγαγαν σε ικανές ποσότητες τα απαραίτητα αέρια του θερμοκηπίου, ώστε να διατηρούσαν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος πάνω από το επίπεδο πήξης του νερού. Σε εκείνο το στάδιο της εξέλιξης το φαινόμενο του θερμοκηπίου λειτούργησε ευνοϊκά για το ξεκίνημα της ζωής. Στη σύγχρονη επιστημονική βιβλιογραφία ως τα αρχαιότερα δείγματα ζωής αναφέρονται ίχνη άνθρακα σε κερατολιθικά πετρώματα (=είδος σκληρού χαλαζιακού πετρώματος) της Γροιλανδίας ηλικίας 3,8 δισεκατομμυρίων χρόνων, για τα οποία πιστεύεται ότι είναι οργανικής προέλευσης.

Μορφές βακτηρίων, πιθανά αρκετά όμοιες με τις σημερινές ήταν οι πρώτοι κάτοικοι του πλανήτη μας. Αυτό αποδεικνύουν τόσο τα απολιθώματά τους, που συνεχώς ανακαλύπτονται, αλλά και σύγχρονες ζωντανές μορφές τους που βρίσκονται σε υπέρθερμες πηγές, στα ηφαιστεια, σε πολύ μεγάλα σκοτεινά βάθη του ωκεανού και βαθιά στο εσωτερικό του φλοιού, όπως δείχνουν τα δείγματα από τις πιο βαθιές γεωτρήσεις τω 4-5 χιλιομέτρων. Οι ζωικοί αυτοί οργανισμοί, που δεν είναι ούτε ζώα ούτε φυτά, βρίσκονται πέρα από τα όρια της βίωσης σε εξαιρετικά δυσμενείς συνθήκες επιβίωσης.

Σήμερα στις μεσοωκεάνιες ράχεις στα 3 με 5 χιλιόμετρα βάθος στο ωκεάνιο νερό, εκεί που οι λιθοσφαιρικές πλάκες απομακρύνονται και ανοίγουν, άφθονο ηφαιστειακό υλικό εισχωρεί εύκολα απευθείας από το μανδύα, δημιουργώντας συνθήκες παρόμοιες με εκείνες του αρχικού πλανήτη. Οι θερμοκρασίες των ηφαιστειακών πηγών κυμαίνονται μεταξύ 100° και 420° C. Το νερό δεν γίνεται αμέσως ατμός γιατί οι πιέσεις είναι μεγάλες. Τέλος, τα ρεύματα ψύχουν τις λάβες και ξεπλένουν γρήγορα τα πετρώματα δημιουργώντας ένα εξαιρετικά τοξικό περιβάλλον με *υδράργυρο*, *αρσενικό*, *αντιμόνιο*, *σελήνιο*, *τελούριο* και *θάλιο*. Εκεί που επικρατεί απόλυτο σκοτάδι δημιουργούν ένα περιβάλλον που πιστεύουμε ότι είναι εντελώς εχθρικό για την ύπαρξη κάθε μορφής ζωής. Και όμως, σ' αυτό το περιβάλλον αναπτύσσονται θερμοφιλα βακτήρια! Τα θερμοφιλα βακτήρια είναι γνωστά από όλες σχεδόν τις θερμές πηγές της επιφάνειας. Τα βακτήρια αυτά παίρνουν ενέργεια από το ζεστό νερό ή τα θερμά πετρώματα και προσροφούν

τα θρεπτικά τους συστατικά από το νερό ή απευθείας από τα πετρώματα δημιουργώντας έτσι τεράστια βιοχημικά εργαστήρια. Ρουφούν χημικά στοιχεία και ενώσεις μόλις φτάνουν από το εσωτερικό της διάπυρης Γης. Τέτοιες συνθήκες θα πρέπει να επικρατούσαν στα αρχικά γεωλογικά στάδια και τέτοιας μορφής ζωή θα επιβίωνε και θα αναπτύσσονταν. Τα βακτήρια μπορούσαν και επιβίωναν σε τέτοιες εξαιρετικά ακραίες συνθήκες, ισχυροποιούνταν από αυτές, αναπτύσσονταν και άρχισαν να παίζουν και γεωλογικό ρόλο στη σύσταση της ατμόσφαιρας και τη δημιουργία νέων πετρωμάτων. Γι' αυτό σήμερα θεωρούνται, μαζί με άλλους μικροοργανισμούς, τα ισχυρότερα βιολογικά όντα, τα πολυπληθέστερα πάνω στη Γη, με μεγάλο και καθοριστικό βιογεωλογικό ρόλο.

Η εμφάνιση της ζωής σ' αυτόν τον πλανήτη ήταν συνέπεια αλλαγών του φλοιού, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας, μοναδικό φαινόμενο που δεν μπορεί να επαναληφθεί. Ταυτόχρονα η ίδια η ζωή επηρέασε και τις αλλαγές αυτές, ιδιαίτερα της ατμόσφαιρας, διαμόρφωσε τη σύνθεσή της. Ήταν μια γήινη διεργασία. Επειδή ο γήινος φλοιός έχει υποστεί συνεχή ανακύκλωση για χιλιάδες εκατομμύρια χρόνια, απομένουν από το αρχικό του υλικό ελάχιστα μόνο υπολείμματα, λίγα κατάλοιπά του που βρίσκονται στο εσωτερικό των ηπείρων, ικανά να μας τροφοδοτήσουν με λίγες σχετικά πληροφορίες.

Οι πρώτοι οργανισμοί του πλανήτη μας, όπως δείχνουν τα λιγοστά απολιθώματά τους, ήταν απλά κύτταρα, χωρίς πυρήνα (προκαρυωτικά) και ετερότροφοι. Στην αρχή, η εξέλιξη τους ακολούθησε έναν πάρα πολύ αργό ρυθμό. Αυτό οφείλεται ίσως στην απουσία οξυγόνου. Υπολογίζεται ότι η αρχική ατμόσφαιρα είχε λιγότερο από 1% οξυγόνο. Χρειάστηκε να περάσει πολύς χρόνος για να σχηματισθεί το ατμοσφαιρικό οξυγόνο από την υδρόσφαιρα και τα πρώτα φωτοσυνθετικά φυτά. Έτσι δόθηκε η αποφασιστική ώθηση για τη γρήγορη εξέλιξη του οργανικού κόσμου που ακολούθησε.

Τα πρώτα πραγματικά αρχαία απολιθώματα βρέθηκαν σε ορισμένα ιζηματογενή πετρώματα της περιοχής Transvaal της Νότιας Αφρικής. Τα πετρώματα του σχηματισμού πετρωμάτων της συκιάς (Fig Tree) βρίσκονται σε μια περιοχή ορυχείων χρυσού, που έχει μελετηθεί γεωλογικά λεπτομερέστατα, λόγω της μεγάλης οικονομικής τους σημασίας. Αποτελείται βασικά από σκουρόχρωμους, σχιστόλιθους και σιδηρομεταλλεύματα. Η ηλικία του

σχηματισμού υπολογίστηκε με ραδιοχρονολόγηση με τη μέθοδο ρουβιδίου (Rb^{87}) - στροντίου (Sr^{87}) και βρέθηκε ότι είναι 3,2 δισεκατομμύρια χρόνια.

Με την εξέταση λεπτών τομών (σε φέτες) κερατολίθων και τη χρησιμοποίηση τόσο του κοινού μικροσκοπίου, όσο και του ηλεκτρονικού, διαπιστώθηκαν σκοτεινές περιοχές οργανικής ύλης και αναγνωρίστηκαν διάφορα είδη απολιθωμάτων. Το πρώτο απ' αυτά είχε μήκος 0,5 - 0,75 μικρά (μ όπου $1\mu = 0,000001$ του μέτρου), πλάτος 9,25 μ και μορφή που έμοιαζε με βακτήριο. Ονομάστηκε Ηωβακτήριο (*Eobacterium isolatum*), το πρώτο βακτήριο της αυγής, δηλαδή της αρχής της ζωής, (ηώς=αυγή) και αποτελεί καινούργιο γένος και είδος. Ένα άλλο σφαιροειδές μικροαπολίθωμα που αναγνωρίστηκε, με μεγαλύτερες διαστάσεις (17-20 μικρά) ονομάστηκε Αρχαιοσφαιροειδές (*Archaeosphaeroides barbertonensis*), επίσης καινούργιο γένος και είδος. Τα δύο αυτά είδη έζησαν στα νερά του πλανήτη μας, πριν από 3 και περισσότερα δισεκατομμύρια χρόνια και θα πρέπει να βρίσκονται πολύ «κοντά» στη «στιγμή» που «συνέβη» το πέρασμα από την αβιοτική χημική εξέλιξη στην οργανική. Αυτά, μαζί με ένα είδος κυανοφύκου ηλικίας 3,5 δισεκατομμυρίων χρόνων που βρέθηκε πρόσφατα, είναι τα αρχαιότερα γνωστά απολιθώματα πάνω στη Γη. Βακτήρια λοιπόν και μετά φύκη είναι οι πρώτοι κάτοικοι του πλανήτη μας.

Πιο εξελιγμένες μορφές προκαμβριανών απολιθωμάτων βρέθηκαν στη Βόρεια Αμερική. Συγκεκριμένα, μέσα σε προκαμβριανά πετρώματα κοντά στην λίμνη Superior στα σύνορα ΗΠΑ και Καναδά, βρέθηκε ο σχηματισμός Gunflint που μελετήθηκε γεωλογικά με κάθε λεπτομέρεια. Τα πετρώματα που περικλείουν κερατόλιθο (πυριτόλιθο), γρανίτες στη βάση και διάφορα άλλα ημιμεταμορφωμένα ιζηματογενούς προέλευσης έχουν ηλικίες 2,5 δισεκατομμυρίων ετών περίπου. Τα μοναδικά πετρώματα του σχηματισμού Gunflint, που περιέχουν απολιθώματα είναι οι κερατόλιθοι, οι οποίοι, όπως και εκείνοι της νότιας Αφρικής, είναι θαλάσσιες αποθέσεις σε περιβάλλον πλούσιο στο χημικό στοιχείο πυρίτιο (Si). Τα απολιθώματά τους είναι καλοδιατηρημένα και μπορούν να αναγνωριστούν σ' αυτά πολλές ανατομικές λεπτομέρειες. Γι' αυτό μελετήθηκαν λεπτομερέστατα και προσδιορίστηκαν 8 γένη και 12 είδη, όλα φύκη που αποτελούν τους πρώτους γνωστούς φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (*Gunflintia*, *Entosphaeroides* κ.ά.). Οι διαστάσεις τους είναι από 0,6 - 5 μικρά .

Μεγάλης σπουδαιότητας γεγονός είναι ότι τα φωτοσυνθετικά κυανοφύκη της εποχής εκείνης, δηλαδή στο μέσο Προκάμβριο, τροφοδοτούσαν την ατμόσφαιρα με οξυγόνο, άλλο ένα μεγάλο άλμα στην εξέλιξη της ζωής και της ατμόσφαιρας. Η μεγάλη όμως ποικιλία των μορφών που αναπτύχθηκαν στα διάφορα οικολογικά περιβάλλοντα, αποτελεί τον επόμενο μεγάλο σταθμό της εξέλιξης της ζωής, την ποικιλομορφία, οπότε η ζωή άρχισε να πατά σε γερές και σταθερές βάσεις, σε ένα μάλλον ασταθή και επικίνδυνο πλανήτη.

Τρίτο εξελικτικό σκαλοπάτι της θολής αλλά και σημαντικότερης αυτής εποχής του Προκάμβριου αποτελούν τα απολιθώματα του γεωλογικού σχηματισμού των πικροπηγών (Bitter Springs), που βρίσκεται στη Νότια Αυστραλία, στην κοιλάδα του Αμαδαίου. Ο σχηματισμός περιλαμβάνει πετρώματα του τέλους της προκαμβριανής εποχής, ασβεστόλιθους, ψαμμίτες και δολομίτες. Η απόλυτη ηλικία αυτών των πετρωμάτων δεν είναι γνωστή, γιατί δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί καμιά γνωστή μέθοδος ραδιοχρονολόγησης. Τα υπερκείμενα όμως πετρώματα της σειράς έχουν ηλικία 820 εκατομμυρίων χρόνων, άρα εκτιμάται ότι η σειρά Bitter Springs έχει ηλικία μεγαλύτερη των 820 εκατομμυρίων, περίπου 1 δισεκατομμύριο χρόνια. Τα μικροαπολιθώματα που βρέθηκαν μέσα σ' αυτά τα πετρώματα είναι κατώτερα φυτά, που έζησαν στις θάλασσες της Κεντρικής και Νότιας Αυστραλίας, πριν μετατραπεί σε ξηρά, κατά την τελευταία προκαμβρία περίοδο. Είναι περισσότερα από 30 είδη και έχουν διαστάσεις που φθάνουν μέχρι τα 75 μικρά. Τρία είδη μοιάζουν με βακτήρια, 20 είδη είναι κυανοφύκη, βρέθηκαν σε πρώτη φάση δύο γένη χλωροφυκών, 2 είδη μυκήτων και δύο άγνωστες προβληματικές μορφές. Τα πετρώματα αυτά συνεχίζουν να τροφοδοτούν τους επιστήμονες και με άλλα γένη και είδη. Η πιο μεγάλη όμως ανακάλυψη, που σχετίζεται με το σχηματισμό πετρωμάτων Bitter Springs, είναι ότι βρέθηκαν, για πρώτη φορά, πολλά είδη χλωροφυκών με πυρήνα, τα ονομαζόμενα στη βιολογία ευκαρυωτικά ή εμπύρνηνα κύτταρα, χίλιες φορές μεγαλύτερα από τα βακτήρια. Πρόκειται για τους αρχαιότερους γνωστούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς! Σ' ένα μάλιστα είδος χλωροφύκου με σχήμα τσαμπιού σταφυλιού, το αινιγματικό γκλενοβοτρίδιο (*Glenobotrydion aenigmatis*), διακρίνονται στάδια μιτωτικής διαίρεσης, δηλαδή διαίρεσης του πυρήνα του. Τι καταπληκτική εικόνα της γέννησης ενός άλλου οργανισμού,

αποτυπωμένη και κρυμμένη για 1 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια, την οποία μπορούμε και βλέπουμε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σήμερα!

Η εμφάνιση του πυρήνα και ο διαχωρισμός των ευκαρυωτικών από τους προκαρυωτικούς (χωρίς πυρήνα) οργανισμούς, είναι ο τρίτος μεγάλος σταθμός στην εξέλιξη της ζωής. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να έγινε στο διάστημα, που προηγήθηκε του σχηματισμού Bitter Springs, πριν από 1 με 2 δισεκατομμύρια χρόνια. Πολλοί βιολόγοι πιστεύουν σήμερα ότι η παρουσία του πυρήνα, όπως και των μιτοχονδρίων ή άλλων οργανιδίων του ευκαρυωτικού κυττάρου προέρχονται από ενσωμάτωση προκαρυωτικών μικροοργανισμών που συμβιούσαν για πάρα πολλά χρόνια. Με την εμφάνιση του πυρήνα, άνοιξε ο δρόμος για την φυλετική αναπαραγωγή και τη γενετική ποικιλομορφία των οργανισμών. Με τη σεξουαλική αναπαραγωγή γίνεται ο ανασυνδυασμός των κληρονομήσιμων χαρακτηριστικών στους οργανισμούς με αποτέλεσμα τη γενετική ποικιλία. Οι ζωικοί οργανισμοί, τα άτομα αποκτούν μοναδικότητα, δηλαδή ατομικότητα, αλλά και θνησιμότητα. Η γενετική ποικιλία είναι το θεμελιώδες κλειδί της εξέλιξης. Ένα μεγάλο άλμα για τη ζωή έγινε και ένα καινούργιο κεφάλαιο για τον πλανήτη μας άνοιξε.

Παράλληλα με την εμφάνιση του πυρήνα, στο τέλος του Προκαμβρίου, είχε συμπληρωθεί βαθμιαία η ατμόσφαιρα με αρκετό οξυγόνο, για να σχηματισθεί το όζον (O₃) και η *οζονόσφαιρα*, που σαν ασπίδα προστάτεψε τη ζωή από την καταστρεπτική υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Οι δύο αυτοί παράγοντες συντέλεσαν ώστε να έχουμε μια «γρήγορη» εξέλιξη και μια μεγάλη ποικιλία φυτών και ζώων σ' όλα τα οικολογικά περιβάλλοντα του πλανήτη μας τα τελευταία 500 με 600 εκατομμύρια χρόνια. Έγινε η αρχή για να πραγματοποιηθεί το μεγάλο άλμα της μεταφοράς της ζωής από τον πρωτόγονο ωκεανό στην ξηρά.

Τα απολιθώματα που βρέθηκαν σε όλους τους παραπάνω προκαμβριανούς γεωλογικούς σχηματισμούς είναι τα αρχαιότερα που έχουν βρεθεί μέχρι σήμερα στον πλανήτη μας, δεν πρέπει όμως να είναι και τα μοναδικά. Οπωσδήποτε μια πιο σχολαστική έρευνα σ' όλους τους προκαμβριανούς σχηματισμούς της Γης, θα φέρει στο φως καινούργια γένη και είδη που θα συμπληρώσουν τα μέχρι σήμερα γνωστά, θα δώσουν αποδείξεις για ορισμένες βαθμίδες της εξέλιξης που παραμένουν σκοτεινές, αλλά θα κρύβουν και εκπλήξεις που δεν μπορούμε να υποψιαστούμε.

Δυο τέτοια μεγάλα κενά της εξέλιξης είναι το όριο μεταξύ της φτωχής σε ζωικές μορφές προκαμβριακής περιόδου και της πλούσιας μετακαμβριανής, ιδιαίτερα της μετάβασης της ζωής από τη θάλασσα στην ξηρά, καθώς και το όριο του περάσματος από τη χημική στην οργανική εξέλιξη. Για τη δεύτερη περίπτωση, τη μελέτη δηλαδή του ορίου χημικής - οργανικής εξέλιξης εργάζονται παράλληλα γεωλόγοι, βιολόγοι, χημικοί και αστροφυσικοί, μόνο που το «τοπίο» παραμένει πολύ θολό. Για την πρώτη περίπτωση πρέπει να πλουτισθούν οι γνώσεις μας με νέα στοιχεία, που θα μας δώσουν καινούργια απολιθώματα και να αναθεωρηθούν οι αντιλήψεις μας για τα όρια μεταξύ Προκαμβρίου και Καμβρίου, με μια καινούργια σπουδή της αρχής και της εξέλιξης της χερσαίας ζωής. Προς αυτή την κατεύθυνση δουλεύουν σήμερα μερικά προχωρημένα ερευνητικά κέντρα παλαιοντολογίας, βιολογίας, γεωλογίας και ήδη προσδιορίζουν μια καινούργια μεταβατική εποχή, πριν από 550 με 530 εκατομμύρια χρόνια, που σκοπεύουν να την ονομάσουν *Τομμότιο* (Tommotian). Η μεγάλη σημασία αυτής της περιόδου έγκειται στην γρήγορη ανάπτυξη της πολυκυτταρικής ζωής. Τα τρία και πλέον δισεκατομμύρια χρόνια της προκαμβριανής μονοκυτταρικότητας ακλούθησαν οι πολυκύτταροι και πολυπλοκότεροι οργανισμοί. Το άλμα αυτό συντελέσθηκε μέσα σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα, 5 με 10 εκατομμυρίων χρόνων. Για τα γεωλογικά δεδομένα θεωρείται πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Πρόσφατα (2006) μάλιστα ανακοινώθηκε η ανακάλυψη ενός ακόμη «χαμένου κρίκου», πολύ σημαντικού της εξελικτικής πορείας των ζώων, ένα «τετράποδο ψάρι» από την Αυστραλία, ηλικίας 400 περίπου εκατομμυρίων χρόνων, με πολλά χαρακτηριστικά χερσαίων ζώων. Όμως ήδη από το 1990 ήταν γνωστά διάφορες προγονικές μορφές τετράποδων από πετρώματα της Αυστραλίας Σκοτίας και Γροιλανδίας

Από τα βακτήρια στον ελέφαντα, όπως χαρακτηριστικά έγραφε ο Jacques Monod στην «Τύχη και Αναγκαιότητα», η φύση διήνυσε σχεδόν 4 δισεκατομμύρια χρόνια, δημιουργώντας. Οι επιστήμονες και ένα μικρό κομμάτι της κοινωνίας μόλις τώρα, τα τελευταία 200 χρόνια, αρχίσαμε να κατανοούμε αυτό το γιγάντιο φαινόμενο της εξέλιξης. Ακόμη βρισκόμαστε στο ξεκίνημα, το μέλλον θα είναι σίγουρα συναρπαστικό, γεμάτο εκπλήξεις και απροσδόκητες αποκαλύψεις. Αν και της φύσης της αρέσει να κρύβει τα μυστικά της, κατά τη φράση του Ηράκλειτου, αφήνει παρόλα αυτά σιγά-σιγά να αποκαλύπτονται,

αλλά με ιδιαίτερα μεγάλες και επίπονες προσπάθειες από την πλευρά του ανθρώπου.

Εξαφανίσεις Ειδών

Τα ζώα και τα φυτά, ή τμήματά τους, για να μπορέσουν να λιθοποιηθούν και να τα βρίσκουμε σήμερα ως απολιθώματα χρειάζονται εξαιρετικά ευνοϊκές συνθήκες. Μόνο ένας πολύ μικρός αριθμός των οργανισμών που έζησαν στο παρελθόν και που εκτιμάται κάτω του 1% ή ακόμη και 0,1% κατόρθωσε να απολιθωθεί. Ούτε αυτό το μικρό ποσοστό δεν έχει μελετηθεί στο σύνολό του, αλλά μόνο ένα πολύ μικρό τμήμα του, που είναι ένα αρκετά αντιπροσωπευτικό δείγμα για να βγάζουμε συμπεράσματα για τους πληθυσμούς πολλών ειδών, γενών και οικογενειών. Για την προκαμβριανή όμως θαλάσσια περίοδο της ζωής δεν διαθέτουμε ικανά στοιχεία, ούτε το δείγμα των απολιθωμάτων θεωρείται ικανοποιητικό, για να τεκμηριώνονται μαζικές εξαφανίσεις ζωικών οργανισμών, αν και λογικά φαίνεται ότι το φαινόμενο αυτό θα ήταν περισσότερο συχνό και εκτεταμένο. Αντίθετα υπάρχουν αρκετά και σημαντικά δεδομένα για την περίοδο μετά το Κάμβριο, τον Φανεροζωικό αιώνα και κυρίως από τα είδη που αναπτύχθηκαν στην ξηρά.

Κατά τον παλαιοντολόγο J. Sepkoski που μελέτησε (1993) περισσότερα από 40.000 γένη απολιθωμένων θαλάσσιων οργανισμών, τα οποία έζησαν στο διάστημα των τελευταίων 600 εκατομμυρίων χρόνων και που ανήκουν σε σχεδόν 5.000 διαφορετικές οικογένειες και σύμφωνα με την πρόσφατη βιβλιογραφία, συνέβησαν 6 με 7 πολύ μεγάλες περιόδοι μαζικής εξαφάνισης ειδών. Σημαντικότερη, αλλά σχεδόν άγνωστη, ήταν αυτή της Πέρμιας περιόδου, δηλαδή πριν από 250 εκατομμύρια χρόνια. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το Πέρμιο, ως χρονική γεωλογική περίοδος διήρκησε 100 εκατομμύρια χρόνια και στα τελευταία εκατομμύρια χρόνια αυτού του χρονικού διαστήματος συνέβησαν οι πολύ μεγάλες εξαφανίσεις και αλλαγές ζωικών ειδών. Η σημαντική αυτή αλλαγή σηματοδότησε και το τέλος του Παλαιοζωικού γεωλογικού αιώνα, της εποχής δηλαδή της παλιάς ζωής. Και άνοιξε το δρόμο για την εμφάνιση νέων μορφών ζωής, πιο βελτιωμένων. Εκτιμάται ότι η εξαφάνιση της Πέρμιας περιόδου ή καλύτερα η αλλαγή και

αντικατάσταση ειδών, ήταν η μεγαλύτερη και σημαντικότερη της γεωλογικής ιστορίας, από όσες τουλάχιστον γνωρίζουμε. Δύο άλλες επίσης μεγάλες εξαφανίσεις ειδών συνέβησαν πριν από 200 με 100 και γύρω στα 65 εκατομμύρια χρόνια αντίστοιχα. Η τελευταία μάλιστα είναι και η πιο γνωστή στο ευρύτερο κοινό και δημοφιλής ως η περίοδος της εξαφάνισης των Δεινοσαύρων και των ερπετών γενικά, στο τέλος της Κρητιδικής περιόδου. Εκείνο που δεν είναι φυσικά γνωστό, είναι ότι το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε για να «αφανιστούν μαζικά» χιλιάδες είδη της ξηράς και της θάλασσας, δεν ήταν «στιγμιαίο» γεγονός, δηλαδή μια μεγακαταστροφή, όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα, αλλά διήρκεσε χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια. Ήταν δηλαδή μια σταδιακή αλλαγή μορφών ζώων, πολύ γρηγορότερη όμως από τη συνηθισμένη εξελικτική διαδικασία, γιατί γρηγορότερη ήταν και η περιβαλλοντική αλλαγή. Με αυτό τον τρόπο τερμάτισαν την ύπαρξη τους σ' αυτόν τον πλανήτη μορφές ζωής, που απέτυχαν και δεν μπόρεσαν να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες που διαμορφώθηκαν. Δόθηκε έτσι η ευκαιρία να εμφανιστούν και να αναπτυχθούν άλλες μορφές ζωής περισσότερο βελτιωμένες και καλύτερα προσαρμοσμένες στο νέο περιβάλλον, που διαμόρφωσαν οι γεωλογικές διεργασίες.

Εκτός από αυτές τις μεγάλης κλίμακας εξαφανίσεις ειδών, συνέβησαν και αρκετές άλλες μικρότερες και μερικές χιλιάδες πολύ μικρές. Τέλος, μεμονωμένες εξαφανίσεις ειδών και γενών συμβαίνουν σε κάθε γεωλογική περίοδο και σε μικρά ακόμη χρονικά διαστήματα της τάξης των 100 μόλις χρόνων. Για παράδειγμα στο 20ο αιώνα εξαφανίστηκαν ή απειλούνται με εξαφάνιση περίπου 16.000 είδη. Στην πραγματικότητα πολλές από αυτές τις «εξαφανίσεις ειδών» είναι μια συνηθισμένη και ευρύτατα διαδεδομένη διαδικασία στη φύση, είναι συνεχείς συρρικνώσεις ομάδων, φυλών και τελικά εξαφάνιση ειδών σε βάθος χρόνου, προς όφελος άλλων πληθυσμών και ειδών. Είναι δηλαδή επιταχυνόμενες αντικαταστάσεις ειδών από άλλα είδη, και αποτελούν τα φυσιολογικά άλματα της εξελικτικής πορείας της φύσης. Δυστυχώς τα στερεότυπά μας, οι φοβίες μας για τα ακραία φυσικά φαινόμενα-στην πραγματικότητα υπαρξιακές φοβίες- και η βαθιά ριζωμένη αντίληψη για βίαιες ξαφνικές καταστροφές δεν μας επιτρέπουν να τις δούμε διαφορετικά και συνεχίζουμε να αναφερόμαστε σε «μαζικές εξαφανίσεις ειδών»

Οι εξαφανίσεις, ή καλύτερα οι συρρικνώσεις πληθυσμών με ορισμένα βιολογικά χαρακτηριστικά συμβαίνουν παράλληλα με τη ραγδαία ανάπτυξη άλλων ομάδων οργανισμών, που με το πέρασμα του γεωλογικού χρόνου δημιουργούνται από τις ομάδες αυτές νέες φυλές, καινούργια υποείδη και είδη. Τα νέα είδη αναπτύσσονται σε μεγαλύτερους πληθυσμούς, αποτελούμενους από άτομα προσαρμοσμένα καλύτερα στις κλιματικές κυρίως και γενικά τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε γεωλογικής εποχής. Όσο αργές και βραδείς είναι οι κλιματικές και γενικά οι γεωλογικές μεταβολές, άλλο τόσο αργές είναι και οι συρρικνώσεις μέχρι εξαφάνισης πληθυσμών και ειδών. Αντίθετα σε περιόδους γρηγορότερων αλλαγών, κυρίως κλιματικών, η φθίνουσα πορεία πολλών ομάδων απομονωμένων γεωγραφικά ειδών επιταχύνεται. Αυτή τη «γρήγορη» διαδικασία μαρασμού πολλών ειδών ονομάζουμε μαζική εξαφάνιση. Ουσιαστικά είναι μια σταδιακή μείωση της βιοποικιλότητας, η οποία ακολουθείται πάντα από μια «ραγδαία» αύξησή της, δηλαδή εμφάνιση πολλών και διαφορετικών νέων μορφών ζωής. Αποτελεί στην πραγματικότητα ένα μεγάλο άλμα της εξέλιξης. Ειδικοί βιολόγοι στην βιοποικιλότητα εκτιμούν ότι στο πρώτο μισό του 21ου αιώνα 15-37% των ειδών του πλανήτη μας θα συρρικνωθούν τόσο, ώστε να φτάσουν στα όρια εξαφάνισης, χωρίς να έχει συμβεί καμιά φυσική καταστροφή. Αυτό σημαίνει μείωση της βιοποικιλότητας. Θα μπορούσαμε να την θεωρήσουμε φυσιολογική, μόνο που σ' αυτήν την περίπτωση η μείωση της βιοποικιλότητας έχει μια μεγάλη ιδιαιτερότητα. Επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και όχι μόνο από τις φυσικές διεργασίες, ενώ παράλληλα δεν υπάρχει δυνατότητα ανανέωσης με νέες μορφές λόγω της συρρίκνωσης των φυσικών περιβαλλόντων και κατά συνέπεια του γενετικού υλικού.

Το έλλειμμα από τη συρρίκνωση πληθυσμών και την εξαφάνιση ειδών το αναπληρώνει η φύση, είτε με την ανάπτυξη πληθυσμών άλλων ειδών, είτε με την αργή αλλά σταθερή δημιουργία καινούργιων. Άλλωστε τα όρια μεταξύ ειδών, υποειδών και φυλών είναι ασαφή, στην πραγματικότητα υπάρχει μια συνέχεια. Στη φύση δεν υπάρχουν στατικά είδη, αφού υπόκεινται στη διαχρονική μεταβλητότητα. Ο διαχωρισμός σε είδη ήταν μια αναγκαία σχολαστική ταξινόμηση της σύγχρονης επιστήμης για να μπορέσει να βάλει μια «τάξη» μελέτης στο «χάος» της ποικιλομορφίας του βιολογικού κόσμου.

Ιδιαίτερα η παλαιοντολογική έρευνα δείχνει τη διαχρονική συνέχεια των ειδών και τις συνεχείς μικρές ή μεγαλύτερες αλλαγές τους. Αν και αυτή η ταξινομική μονάδα είναι θεμελιώδης στη βιολογία, που δηλώνει τη διαφορετικότητα, δεν υπάρχει ένας σαφής ορισμός της. Η έννοια του είδους ποικίλλει μεταξύ βιολογικής συνάφειας και σεξουαλικής απομόνωσης, εξελικτικής διαμόρφωσης ως παλαιοντολογική έννοια και μορφολογικών-ανατομικών διαφορών μεταξύ των έμβιων όντων. Παρόλα αυτές τις ασάφειες το είδος αποτελεί θεμελιώδη βιολογική έννοια μόνο όμως για καθορισμένη γεωλογική χρονική περίοδο. Διαφορετικά είδη δεν μπορούν να διασταυρώνονται και μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η βιοποικιλότητα, σε αντίθετη περίπτωση η ροή γενετικού υλικού θα ήταν διάσπαρτη και θα έτεινε προς ομοιομορφία και όπως είναι γνωστό, ο φυσικός κόσμος δεν αγαπά την ομοιομορφία αλλά προτιμά την πολυπλοκότητα.

Τα απολιθώματα, όταν μελετούνται ποσοτικά για να προσδιορίζουν πληθυσμούς του παρελθόντος, δείχνουν σαφέστατα ότι κάθε ζωικό είδος έχει μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια ανάπτυξης, μικρή ή μεγάλη. Όλα σχεδόν τα είδη ξεκινούν σαν μικρές απομονωμένες πληθυσμιακές ομάδες, που με το χρόνο μεταλλάσσονται και ξεχωρίζουν σταδιακά από το είδος από το οποίο προήρθαν, πρώτα ως φυλή, μετά ως υποείδος και τέλος ως ξεχωριστό είδος. Αναπτύσσονται γεωγραφικά και πληθυσμιακά, φτάνουν στην ακμή τους και για κάποιους περιβαλλοντικούς κυρίως λόγους, είτε οδηγούνται σε σταδιακή συρρίκνωση, είτε από τους κόλπους τους ξεπηδούν άλλα είδη. Η εξελικτική αυτή πορεία κάθε ζωικού είδους φαίνεται ότι ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο. Μερικά είδη «ζουν» πολύ μικρά χρονικά διαστήματα και συνήθως και μεγάλη γεωγραφική εξάπλωση. Αυτά μας είναι ιδιαίτερα πολύτιμα στη γεωλογία και ιδιαίτερα στη στρωματογραφία, γιατί όταν τα βρίσκουμε σε διάφορα στρώματα πετρωμάτων, ταξινομούμε και χρονολογούμε ευκολότερα τα στρώματα αυτά. Τα ονομάζουμε τότε χαρακτηριστικά ή καθοδηγητικά απολιθώματα. Άλλα είδη «ζουν» περισσότερο, ενώ λίγα καταφέρνουν να επιβιώνουν σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα ή απομονώνονται και παρουσιάζουν μικρές έως καθόλου εξελικτικές αλλαγές. Γίνονται μ' αυτό τον τρόπο μόνιμοι κάτοικοι του πλανήτη μας. Τέτοια είναι πάρα πολλά είδη βακτηρίων, κυανοφυκών, εντόμων, ερπετών. Τα είδη αυτά ή παλαιοντολογία τα ονομάζει συντηρητικά. Όταν εκτός από τις απολιθωμένες μορφές τους

βρίσκονται να ζουν ξεχασμένα σε κάποια γωνιά του πλανήτη, ονομάζονται *ζωντανά απολίθωματα*. Η πιο χαρακτηριστική περίπτωση είναι εκείνη του *κοιλάκανθου (Latimeria)*, ενός είδους πρωτόγονου ψαριού μεγάλου μεγέθους, σαν μεγάλη σφυρίδα, που οι γεωλόγοι και οι παλαιοντολόγοι γνώριζαν μόνο ως απολίθωμα από τα παλαιοζωικά και μεσοζωικά πετρώματα διαφόρων περιοχών ηλικίας μεγαλύτερης των 100 εκατομμυρίων χρόνων. Πίστευαν μάλιστα ότι ως είδος εξαφανίστηκε κατά την κρητιδική εποχή μαζί με πολλά άλλα είδη. Μέχρι που οι ψαράδες της νότιας Αφρικής, πρώτα το 1938 και της Μαδαγασκάρης αργότερα (1952-53), ψάρεψαν ολοζώντανα τέτοια ψάρια, προς μεγάλη έκπληξη της επιστημονικής κοινότητας και φυσικά τα μαγείρεψαν. Ο κοιλάκανθος που αφθονούσε στα γλυκά και υφάλμυρα νερά πολλών περιοχών του παλαιοζωικού και μεσοζωικού αιώνα, τάισε πιθανότητα πολλούς δεινόσαυρους, ιχθυόσαυρους και άλλα ερπετά, τρύπωσε και κρύφτηκε στα βαθιά σκοτεινά θαλασσινά νερά βαθύτερα από 500 και 1000 μέτρα ακόμη γύρω από τα νησιά Κομόρες όταν περιορίστηκε πληθυσμιακά. Αντί να εξαφανισθεί, όπως συνέβη με πολλά άλλα είδη, όταν άλλαζαν οι εξωτερικές συνθήκες, προσαρμόσθηκε σε ένα απομονωμένο περιβάλλον όπου κατόρθωσε να επιζήσει. Δεν εξελίχθηκε σχεδόν καθόλου και επιβίωσε ως άγνωστο είδος και «λαθρεπιβάτης της Γης» για άλλα 60-70 εκατομμύρια χρόνια μέχρι να τον ανακαλύψουν και πάλι τον 20^ο αιώνα.

Οι μαζικές κυρίως εξαφανίσεις ειδών εξάπτουν την φαντασία ειδικών και μη, ωθούν ή παρασύρουν πολλούς επιστήμονες να αναζητήσουν τα αίτια τους συνήθως σε καταστροφικά γεγονότα, όπως πτώση μεγάλων αστεροειδών και κομητών, εκτεταμένες ισχυρές ηφαιστειακές εκρήξεις σ' ολόκληρο τον πλανήτη, μεγάλες και απότομες κλιματικές αλλαγές και άλλα. Η καταστροφολογία συνήθως είναι η πιο εύκολη απάντηση, που θα τροφοδοτήσει την φαντασία, τα μυθιστορήματα επιστημονικής φαντασίας και τον κινηματογράφο. Αλλά σε μια ψύχραιμη επιστημονική ανάλυση θα αναλυθούν και θα επανεξετασθούν όλα τα υπάρχοντα στοιχεία, θα αναζητηθούν και άλλα επιπρόσθετα δεδομένα τεκμηρίωσης και κυρίως θα μελετηθούν και τα μικρά και «ασήμαντα» γεγονότα, οι μικρές, δευτερεύουσες και μεμονωμένες εξαφανίσεις. Ήδη, τα σενάρια της πρόσκρουσης ενός μεγάλου μετεωρίτη ή αστεροειδούς ως κύριου υπεύθυνου για τη «γρήγορη» και μαζική εξαφάνιση των δεινοσαύρων και του 60% περίπου των ειδών πριν

από 65 εκατομμύρια χρόνια αμφισβητείται έντονα τα τελευταία χρόνια, από γεωλόγους και παλαιοντολόγους. Άλλωστε η θεωρία της εξωγήινης καταστροφής δεν διατυπώθηκε από γεωλόγους. Προτάθηκε τη δεκαετία του '80 από μια ομάδα στην πλειοψηφία τους πυρηνικών φυσικών και χημικών με επικεφαλής το νομπελίστα Λουίς Αλβαρέζ (Luis Alvarez), οι οποίοι δεν πρέπει να είχαν συνειδητοποιήσει τις έννοιες της αργής σταδιακής γεωλογικής μεταβολής και του γεωλογικού χρόνου.

Το 1980 ο Luis Alvarez, ο γεωλόγος γιός του Walter Alvarez και οι συνεργάτες τους, από το πανεπιστήμιο Berkley της Καλιφόρνιας, ανακάλυψαν ασυνήθιστα υψηλές συγκεντρώσεις ιριδίου σε γεωλογικά στρώματα 65 εκατομμυρίων χρόνων εκατό διαφορετικών περιοχών. Το ιρίδιο είναι ένα στοιχείο πολύ σπάνιο στο φλοιό της Γης, αλλά σχετικά άφθονο σε πολλούς μετεωρίτες. Από το ποσό και την κατανομή του ιριδίου, η ομάδα υπέθεσε ότι ένας αστεροειδής 10-14 χιλιομέτρων πρέπει να είχε συγκρουστεί με τη Γη και να το διασκόρπισε στα γήινα πετρώματα. Η πρόταση τους ήταν σαφώς μια καλά διατυπωμένη επιστημονική υπόθεση, τίποτα παραπάνω. Αργότερα, το 1990, βρέθηκε από γεωλόγους που πραγματοποιούσαν έρευνα για πετρέλαια, ένας «απολιθωμένος» και θαμμένος κρατήρας στο Chicxulub, στη χερσόνησο Yucatan του Μεξικού. Ο κρατήρας χρονολογήθηκε με τη μέθοδο Καλίου-Αργού ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) 65 εκατομμυρίων ετών. Το μέγεθος του κρατήρα είναι συγκρίσιμο με αυτό που θα είχε προκληθεί από ένα ουράνιο σώμα με μια διάμετρο κατά προσέγγιση 10 χιλιομέτρων. Έτσι η υπόθεση Alvarez βρήκε μια σημαντική απόδειξη.

Τα μεγάλα ερωτήματα όμως παραμένουν: Ποια ήταν ακριβώς τα αποτελέσματα αυτής της πρόσκρουσης και πώς αυτά επηρέασαν τους δεινοσαύρους και τα άλλα είδη που εξαφανίστηκαν; Γιατί άλλα είδη, μεταξύ των οποίων και ερπετά, όπως τα χιλιάδες είδη φιδιών και οι κροκόδειλοι, δεν εξαφανίστηκαν; Τα μεγάλα και πιο εξελιγμένα φυτά, τα αγγειόσπερμα, που είχαν αρχίσει να αναπτύσσονται από το μεσοζωικό αιώνα και να διαμορφώνουν μια νέα περιβαλλοντική κατάσταση στον πλανήτη, γιατί δεν επηρεάστηκαν; Ήταν τόσο σημαντικά τα αποτελέσματα ώστε να εξαφανιστούν πολλοί ζωικοί οργανισμοί σε σύντομο χρονικό διάστημα ή οι περιβαλλοντικές αλλαγές διήρκεσαν για πολλά εκατομμύρια χρόνια; Ταιριάζει απόλυτα χρονικά η πρόσκρουση του αστεροειδούς με τις εξαφανίσεις ή τα όρια

σφαλμάτων της μεθόδου Καλίου-Αργού είναι μεγάλα; Από την άλλη ενώ γνωρίζουμε ότι η μεγάλη πηγή του στοιχείου ιριδίου είναι το διάστημα, η δεύτερη πηγή του είναι το εσωτερικό του πλανήτη μας και φτάνει στη επιφάνεια μετά από ορισμένες μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις. Γιατί τότε το ιρίδιο δεν μπορεί να προέρχεται από τις ηφαιστειακές εκχύσεις ή και από αυτές;

Λόγω του κύρους της επιστημονικής ομάδας Alvarez και της εντυπωσιακής ερμηνείας, η υπόθεση αυτή υιοθετήθηκε αμέσως από ένα μεγάλο τμήμα του επιστημονικού κόσμου και κυρίως από τα ΜΜΕ και το ευρύτερο κοινό και κυριάρχησε. Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι μετά από αυτή την εντυπωσιακή και δημοφιλή άποψη, δημοσιεύτηκαν για το ίδιο θέμα περισσότερες από 2.000 μελέτες σε 25 χρόνια, τις οποίες αγνοούν πολλοί επιστήμονες μη ειδικοί αλλά ακόμη και ειδικοί, οι οποίοι αρέσκονται να επαναλαμβάνουν αυτή την ελκυστική υπόθεση.

Μεταξύ των γεωλόγων κερδίζει σήμερα έδαφος η άποψη της εκτεταμένης ηφαιστειότητας, για την οποία υπάρχουν περισσότερες αποδείξεις, της επακόλουθης μεγάλης μόλυνσης της ατμόσφαιρας και των νερών και κατά συνέπεια μιας σχετικά «γρήγορης» εξαφάνισης ειδών, σε χρονικό διάστημα 500.000 με 1 εκατομμύριο χρόνων. Ουσιαστικά μιλούν για τις συνέπειες μιας μεγάλης περιβαλλοντικής αλλαγής και της επιταχυνόμενης αλλά σταδιακής αλλαγής πολλών μορφών ζωής στη Γη. Επίσης διαμετρικά αντίθετα με τους καταστροφολόγους βρίσκονται αρκετοί παλαιοντολόγοι, η συστηματική δουλειά των οποίων, δείχνει αργή μάλλον και φυσιολογική εξέλιξη λόγω των περιβαλλοντικών αλλαγών. Δεν θα συγκινήσει πολλούς, γιατί δεν είναι εντυπωσιακή. Οι μελετητές που διατυπώνουν αυτές τις απόψεις θα παραμείνουν άγνωστοι. Οι εντυπωσιακές υποθέσεις όμως «ευρείας κατανάλωσης» ή μη, θα δοκιμαστούν με τη συνεχή επιστημονική έρευνα, με νέα δεδομένα και θα κριθούν με το χρόνο. Το μέλλον θα παγιώσει μια πιο ρεαλιστική πραγματικότητα για το μεγάλο θέμα της εξαφάνισης των ειδών και την αντικατάστασή τους από άλλα. Αυτή είναι η γοητεία της επιστήμης. Τέλος, εκτός από τις περιόδους μεγάλων ή μικρών εξαφανίσεων ειδών, δηλαδή μείωση της βιοποικιλότητας, έχουμε και αντίστοιχες περιόδους «γρήγορης» εμφάνισης νέων μορφών ζωής, πολλών νέων ειδών, δηλαδή «ραγδαίες» αυξήσεις της βιοποικιλότητας. Μια χαρακτηριστική και ίσως η πιο σημαντική

εμφάνιση και ανάπτυξη νέων ειδών συνέβη στο όριο από το Προκάμβριο στο Κάμβριο, πριν από 550-530 εκατομμύρια χρόνια. Πρόσφατες μάλιστα γεωλογικές και παλαιοντολογικές έρευνες δείχνουν ότι αυτή η μεγάλη αλλαγή στη ποικιλομορφία των ζωντανών οργανισμών πραγματοποιήθηκε σε διάστημα μικρότερο των 5 εκατομμυρίων χρόνων και συνεχίστηκε στα επόμενα 500 εκατομμύρια χρόνια. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που αυτό το όριο της βιολογικής εξέλιξης θεωρείται από τους γεωλόγους ως ο σημαντικότερος σταθμός στην γεωλογική ιστορία του πλανήτη μας.

Με τα χιλιάδες παλαιοντολογικά δεδομένα που διαθέτουν σήμερα οι επιστήμονες, που θα πρέπει να τονιστεί δεν είναι πλήρη, προκύπτει μια εκθετική σχέση του αριθμού των μαζικών εξαφανίσεων με το μέγεθός τους. Δηλαδή με απλούστερα λόγια όταν διπλασιάζεται το μέγεθος της μελετώμενης εξαφάνισης ειδών η συχνότητα εμφάνισης μεγαλύτερων τέτοιων γεγονότων μικραίνει, γίνεται τέσσερις φορές μικρότερη. Μεγάλης έκτασης εξαφανίσεις ειδών συμβαίνουν σπάνια. Αυτή η εκθετική μείωση αποτελεί ένα γενικευμένο νόμο για πολλά φυσικά φαινόμενα, όπως είναι η λαμπρότητα των αστερών σε σχέση με το πλήθος τους, το πλήθος των σεισμών σε συνάρτηση με το μέγεθός τους, το πάχος και ο ρυθμός απόθεσης των στρωμάτων ιζημάτων στις θάλασσες και τις λίμνες σε σχέση με το πλήθος τους. Κάθε λοιπόν δραματική εξαφάνιση ειδών μπορεί να έχει διαφορετικά αίτια, δεν είναι απαραίτητο αυτά τα αίτια να είναι πάντα βίαια και καταστροφικά. Όταν αφαιρέσουμε τον καταστροφικό παράγοντα από τις υποθέσεις μας, οι μαζικές εξαφανίσεις, όπως και οι μικρότερης κλίμακας, φαίνεται να μην αποτελούν εξαιρέσεις από το γνωστό δρόμο και τους μηχανισμούς της εξέλιξης. Οι «καταστροφές» είναι οι μεγάλοι σταθμοί της εξέλιξης, τα άλματά της. Οι μικρές αλλαγές είναι πιο σημαντικές στη βιολογία και στη γεωλογία. Πολλές και πολύ μικρές μεταβολές όταν σταδιακά συσσωρεύονται είναι αυτές που δείχνουν τις διαχρονικές μεγάλες αλλαγές πορείας στην εξέλιξη της Γης, της ζωής, αλλά και της κοινωνίας.

Οι αρχές του ομοιομορφισμού και της μεταβλητότητας (gradualism-γκραντουαλισμός) ουσιαστικά τονίζουν τη θεμελιώδη σημασία των μικρών αλλαγών στη γεωλογία, σε συνάρτηση πάντα με την άλλη μεγάλη συνιστώσα, το βάθος του γεωλογικού χρόνου. Η συνειδητοποίηση του γεωλογικού χρόνου από τον άνθρωπο σήμερα, δίνει μια άλλη σημαντική διάσταση στην

ανθρώπινη σκέψη για τη διαχρονική κατανόηση του περιβάλλοντος και των αλλαγών του και την ιστορική πορεία του ανθρώπου μέσα σε αυτό. Ο γεωλογικός χρόνος φυσικά είναι συνέχεια του ιστορικού μας χρόνου, όπως τον αντιλαμβανόμαστε, πολύ μεγαλύτερος όμως. Είναι και αυτός, όπως ο ιστορικός μας χρόνος μια σειρά αλληλουχίας και διάρκειας γεγονότων