

ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ.

Η σύσταση του φλοιού ουσιαστικά καθορίζεται από τα πυριγενή πετρώματα μια που τα ιζήματα και τα μεταμορφωμένα είναι σε ασήμαντες ποσότητες συγκριτικά. Η δημιουργία των βασαλτικών-γαββρικών πετρωμάτων, όπως αναφέραμε προηγούμενα, αρχίζει στο μανδύα. Οι κατακόρυφες κινήσεις που συμβαίνουν στο φλοιό, όπως π.χ. οι πτυχώσεις των οροσειρών, ο σχηματισμός γεωσυγκλίσεων κ.λ.π. συνοδεύονται από εξισορροπιστικές κινήσεις άλλων μαζών πετρωμάτων. Η διάβρωση τη συνέχεια πολλές φορές αποκαλύπτει βαθύτερα σημεία του φλοιού τα οποία ίσως διαφορετικά δεν θα μπορούσαμε να τα εξετάσουμε.

Ο φλοιός διακρίνεται σε **ηπειρωτικό** και **ωκεάνιο**. Από τις πληροφορίες που έχουμε με βάση τις ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων φαίνεται ότι ο κατώτερος ηπειρωτικός φλοιός αποτελείται από γρανουλίτες, αμφιβολίτες και εκλογίτες, ενώ ο ωκεάνιος φλοιός έχει πιθανότατα βασαλτική σύσταση. Η μάζα του ηπειρωτικού φλοιού είναι 2×10^{19} τόνοι και η μάζα του συνήθως λεπτότερου ωκεάνιου φλοιού είναι 5×10^{18} τόνοι. Και οι δύο όμως αυτές ποσότητες μαζί αποτελούν λιγότερο από το 0,5% της ολικής μάζας της Γης.

Ανώτερος ηπειρωτικός φλοιός.

Τα 15 πρώτα χιλιόμετρα του ανώτερου τμήματος του ηπειρωτικού φλοιού ονομάζονται "γεωλογικά ενεργός φλοιός". Η σύσταση αυτού του τμήματος έχει ιδιαίτερη σημασία. Σύμφωνα με υπολογισμούς με βάση θερμοστατικά δεδομένα, προκύπτει ότι τα γρανιτικά και γρανοδιοριτικά τμήματα συνιστούν περίπου 10 χλμ. πάχος. Έτσι η σύσταση του "γεωλογικά ενεργού φλοιού" είναι περίπου γρανοδιοριτική.

Πολλές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί η μέση σύσταση του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού. Οι περισσότερες παρατηρήσεις συγκεντρώνονται στα πετρώματα που βρίσκονται ακριβώς κάτω από το στρώμα των ιζημάτων. Αν όλα τα ιζήματα ήταν ομοιόμορφα κατανομημένα στην επιφάνεια της γης τότε το στρώμα αυτό των ιζημάτων δεν θα ξεπερνούσε σε πάχος το 1 χλμ. Αν και οι ωκεανοί συνιστούν τα $\frac{3}{4}$ της επιφάνειας της γης, το μεγαλύτερο μέρος των ιζημάτων δεν συγκεντρώνεται στους πυθμένες τους αλλά σε γεωσύγκλινα ηπειρωτικών κρασπέδων καθώς και κατά τα τελευταία στάδια της πτυχώσεως των οροσειρών.

Σύσταση του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού.

Η μέση σύσταση των πυριγενών πετρωμάτων θεωρείται ότι είναι αντιπροσωπευτική της μέσης σύστασης του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού.

Μέση σύσταση πυριγενών του ανώτερου φλοιού (%)						
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO
65,4	0,7	14,8	1,4	3,3	0,1	2,3
CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	
4,0	3,3	3,4	0,6	0,2	-	

Η μέση σύσταση του φλοιού χρησιμοποιείται σαν πεδίο αναφοράς για τη μελέτη της κατανομής των στοιχείων στα διάφορα πετρώματα. Αν τα αρχικά πετρώματα έχουν μετατραπεί δευτερογενώς (πυριγενή σε ιζήματα, ιζήματα σε μεταμορφωμένα) τότε ο προσδιορισμός του αρχικού υλικού παρουσιάζει ενδιαφέρον. Σ' αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα με μικρότερη ποσοστιαία συμμετοχή χημικά συστατικά. Διότι δεν είναι μόνο πιο πολυάριθμα από τα κύρια στοιχεία αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και με την έννοια των "καθοδηγητικών στοιχείων". Μερικά από αυτά τα μικρότερης αναλογίας συστατικά απαντούν σε περίπου ίδιες ποσότητες στους πιο συνηθισμένους πετρογραφικούς τύπους. Άλλα πάλι είναι πιο συχνά σε ορισμένους μόνο τύπους πετρωμάτων όπως π.χ. τα Ba, Rb και Pb στα γρανιτικά πετρώματα ή τα Ni, Cr και Co στους περιδοτίτες και βασάλτες.

Παρακάτω δίνεται η ποσοστιαία αναλογία των κυριότερων μαγματικών ορυκτών στο φλοιό.

Ο ρ υ κ τ ό % ό γ κ ο ς

Πλαγιόκλαστα	42
K-άστριοι	22
Χαλαζίας	18
Αμφίβολοι	5
Πυρόξενοι	4
Βιοτίτης	4
Μαγνητίτης, Ιλμενίτης	2
Ολιβίνης	1,5
Απατίτης	0,5

Πίνακας 9. Ποσοστά των στοιχείων στα πετρώματα του φλοιού (σε gr ανά τόνο ή μέρη του εκατομμύριο). (Από Mason and Moore 1982).

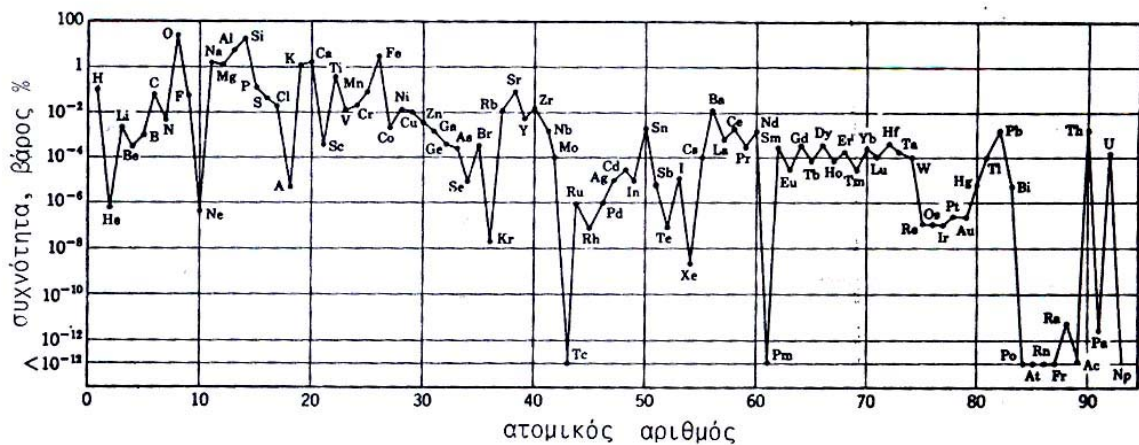
ατομικός Αριθμός	στοιχείο	Μ.Ο. στο φλοιό	Γρανίτης	Διαβάσης
1	H	1.400	400	600
3	Li	20	22	15
4	Be	2,8	3	0,8
5	B	10	1,7	15
6	C	200	200	100
7	N	20	59	52
8	O	466.000	485.000	449.000
9	F	625	700	250
11	Na	28.300	24.000	16.000
12	Mg	20.900	2.400	19.000
13	Al	81.300	/4.300	/9.400
14	Si	277.200	339.600	246.100
15	P	1.050	390	610
16	S	260	58	123
17	Cl	130	70	200
19	K	25.900	45.100	5.300

20	Ca	36.300	9.900	78.300
21	Sc	22	2,9	35
22	Ti	4.400	1.500	6.400
23	V	135	17	264
24	Cr	100	20	114
25	Mn	950	195	1.280
26	Fe	50.000	13.700	77.600
27	Co	25	2,4	47
28	Ni	75	1	76
29	Cu	55	13	110
30	Zn	70	45	86
31	Ga	15	20	16
32	Ge	1,5	1,1	1,4
33	As	1,8	0,5	1,9
34	Se	0,05	0,007	0,3
35	Br	2,5	0,4	0,4
37	Rb	90	220	21
38	Sr	375	250	190
39	Y	33	13	25
40	Zr	165	210	105
41	Nb	20	24	9,5
42	Mo	1,5	6,5	0,57
44	Ru	0,01		
45	Rh	0,005		<0,001
46	Pd	0,01	0,002	0,025
47	Ag	0,07	0,05	0,08
48	Cd	0,2	0,03	0,15
49	In	0,1	0,02	0,07
50	Sn	2	3,5	3,2
51	Sb	0,2	0,31	1,0
52	Te	0,01	<1	<1
53	I	0,5	<0,03	<0,03

Ατομικός αριθμός	στοιχείο	Μ.Ο. στο φλοιό	Γρανίτης	Διαβάσης
55	Cs	3	1,5	0,9
56	Ba	425	1.220	160
57	La	30	101	9,8
58	Ce	60	170	23
59	Pr	8,2	19	3,4
60	Nd	28	55	15
62	Sm	6,0	8,3	3,6
63	Eu	1,2	1,3	1,1
64	Gd	5,4	5	4
65	Tb	0,9	0,54	0,65
66	Dy	3,0	2,4	4
67	Ho	1,2	0,35	0,69
68	Er	2,8	1,2	2,4
69	Tm	0,5	0,15	0,30
70	Yb	3,4	1,1	2,1
71	Lu	0,5	0,19	0,35
72	Hf	3	5,2	2,7
73	Ta	2	1,5	0,50
74	W	1,5	0,4	0,5
75	Re	0,001	<0,002	<0,002
76	Os	0,005	0,00007	0,0003
77	Ir	0,001	0,00001	0,003
78	Pt	0,01	0,0019	0,0012
79	Au	0,004	0,004	0,004
80	Hg	0,08	0,1	0,2
81	Tl	0,5	1,2	0,11
82	Pb	13	48	7,8
83	Bi	0,2	0,07	0,05
90	Th	7,2	50	2,4
92	U	1,8	3,4	0,58

Στον πίνακα 9, δίνονται οι μέσες συχνότητες των στοιχείων στο φλοιό σε gr ανά τόνο ή ppm καθώς και οι συχνότητες σε δύο πρότυπα (standard) πετρώματα γρανίτη και διαβάση. Στο σχήμα 7 φαίνεται η σχέση της συχνότητας των στοιχείων του φλοιού προς τον ατομικό αριθμό. Από τον πίνακα 9 και το σχήμα 7 προκύπτουν ορισμένα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Οκτώ στοιχεία, δηλαδή τα O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg παίζουν το βασικό ρόλο στη σύσταση του φλοιού. Από τον πίνακα μάλιστα 10, που δίνει τα στοιχεία κατά σειρά ποσοστιαίας συμμετοχής, φαίνεται ότι τα παραπάνω 8 στοιχεία αποτελούν το 99% του συνόλου. Για ορισμένα στοιχεία, κυρίως μικρότερης συχνότητας υπάρχουν μικροδιαφορές μεταξύ των πινάκων 9 και 10 λόγω διαφοράς βιβλιογραφίας. Από τα στοιχεία αυτά το οξυγόνο είναι το επικρατέστερο με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα. Αυτή η υπεροχή, όπως παρατήρησε πρώτος ο Goldschmidt, φαίνεται καλλίτερα στον πίνακα 11.

Σχήμα 7. Κατανομή των στοιχείων με ατομικό αριθμό 1-93 στο φλοιό.
(από Mason and Moore, 1982).



Πίνακας 10. Μέση αναλογία των στοιχείων που περιέχονται στα πετρώματα του φλοιού σε gr/ton. (Από Mason, 1966).

O	466.000	Rb	90	Hf	5	Hg	0,5
Si	277.200	V	110	Dy	5	I	0,3
Al	81.300	Ni	80	Sn	3	Sb	0,2
Fe	50.000	Zn	65	B	3	Bi	0,2
Ca	36.300	N	46	Yb	3	Tm	0,2
Na	28.300	Ce	46	Er	3	Cd	0,2
K	25.900	Cu	45	Br	3	Ag	0,1
Mg	20.900	Y	40	Ge	2	In	0,1
Ti	4.400	Li	30	Be	2	Se	0,09
H	1.400	Nd	24	As	2	A	0,04
P	1.180	Nb	24	U	2	Pd	0,01
Mn	1.000	Co	23	Ta	2	Pt	0,005
F	700	La	18	W	1	Au	0,005
S	520	Pb	15	Mo	1	He	0,003
Sr	450	Ga	15	Cs	1	Te	0,002
Ba	400	Th	10	Ho	1	Rh	0,001
C	320	Sm	7	Eu	1	Re	0,001
Cl	200	Gd	6	Tl	1	Ir	0,001
Cr	200	Pr	6	Tb	0,9	Os	0,001
Zr	160	Sc	5	Lu	0,8	Ru	0,001

Πίνακας 11. Τα συχνότερα χημικά στοιχεία στο γήινο φλοιό

	Βάρος %	Πλήθος ατόμων %	Ακτίνα (Å)	Όγκος %
O	46,60	62,55	1,40	91,7
Si	27,72	21,22	0,26	0,2
Al	8,13	6,47	0,53	0,5
Fe	5,00	1,92	0,77	0,5
Mg	2,09	1,84	0,72	0,4
Ca	3,63	1,94	1,12	1,5
Na	2,83	2,64	1,16	2,2
K	2,59	1,42	1,60	3,1

Βλέπουμε, δηλαδή, ότι ο φλοιός της γης αποτελείται σχεδόν στο σύνολό του από ενώσεις οξυγόνου και μάλιστα πιο πολύ πυριτικές με αργίλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο, κάλιο και σίδηρο. Σε βάρος, το οξυγόνο είναι λίγο λιγότερο από το 50%, ενώ αν υπολογίσουμε τη συμμετοχή σε αριθμό ατόμων τότε περνάει το 60%. Τέλος αν πάρουμε υπόψη τον όγκο των ατόμων ή καλλίτερα των ιόντων μέσα στις ενώσεις με βάση το μέγεθός τους (ακτίνα ιόντος) τότε το οξυγόνο φθάνει σχεδόν το 92% από το συνολικό όγκο των στοιχείων. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι ο φλοιός της γης είναι στην ουσία σύνολο ανιόντων οξυγόνου που δεσμεύτηκαν από ιόντα πυριτίου και άλλων (κυρίως έξι) μετάλλων. Γι αυτό και ο Goldschmidt ονόμασε τη λιθόσφαιρα **οξύσφαιρα**.

Σχετικά με τα άλλα τα στοιχεία ο πίνακας 10 μας δείχνει χαρακτηριστικά ότι ορισμένα απ' αυτά που θεωρούνται σημαντικά για την οικονομική ανάπτυξη και πολύ γνωστά στην καθημερινή χρήση είναι στην πραγματικότητα αρκετά σπάνια. Έτσι ο χαλκός είναι λιγότερο άφθονος από το άγνωστο σε πολλούς ζιρκόνιο, ο μόλυβδος μπορεί να συγκριθεί με αυτή του νικελίου, το βανάδιο είναι αφθονότερο απ' τον κασσίτερο, το σκάνδιο από το αρσενικό, και το χάρνιο, στοιχείο που ανακαλύφθηκε πολύ αργότερα, είναι πιο άφθονο από το βόριο. Εδώ θα πρέπει να κάνουμε μια παρατήρηση. Θα πρέπει δηλαδή, να διαχωριστεί η έννοια ποσότητας του στοιχείου από την έννοια της συχνότητας εμφάνισης αυτού.

Μερικά στοιχεία, αν και υπάρχουν στο φλοιό σε αξιόλογες ποσότητες, είναι συστηματικά διασκορπισμένα στα πιο συνηθισμένα ορυκτά και δεν εμφανίζονται συγκεντρωμένα σε ορισμένα σημεία. Ο Vernadsky ονόμασε τα στοιχεία αυτά "διασκορπισμένα", π.χ. το ρουβίδιο είναι διασκορπισμένο στα ορυκτά καλίου και το γάλιο στα ορυκτά αργιλίου. Άλλα στοιχεία όπως είναι το τιτάνιο και το ζιρκόνιο σχηματίζουν ξεχωριστά ορυκτά, τα οποία με τη σειρά τους είναι διασκορπισμένα σε μικρές ποσότητες μέσα στα συνηθέστερα πετρώματα. Πάντως τα πιο γνωστά στοιχεία είναι εκείνα που σχηματίζουν ορυκτά που αποτελούν τις πρώτες ύλες για τη βιομηχανία, άσχετα με την ποσοστιαία συμμετοχή τους στο φλοιό της γης.

Συνοπτική εικόνα της σύστασης του συνόλου της γης.

Η σύσταση ολόκληρης της μάζας της γης καθορίζεται κυρίως από τη σύσταση του μανδύα και του πυρήνα, αφού αυτά τα δύο συνιστούν το 99% της μάζας της. Για τον υπολογισμό αυτής της σύστασης, σύμφωνα με όσα είπαμε μέχρι τώρα, θεωρούμε σαν προϋποθέσεις τα εξής:

1. Το κράμα σιδήρου-νικελίου του πυρήνα έχει τη μέση σύσταση του μετεωριτικού κράματος Ni-Fe.
2. Το πυριτικό υλικό του μανδύα είναι περιδοτιτικής σύστασης.
3. Η γη περιέχει 8% θειούχο υλικό, του οποίου η σύσταση είναι παρόμοια με αυτήν του μετεωριτικού τροϊλίτη. Η περιεκτικότητα της γης σε θείο δεν είναι πιθανότατα μικρότερη από αυτή του προγονικού σώματος των μετεωριτών λόγω της μεγάλης ικανότητας των μεγαλύτερων σωμάτων να συγκρατούν πτητικά στοιχεία, όπως είναι το θείο.
4. Το περιεχόμενο σε τροϊλίτη διαμοιράζεται μεταξύ των πυριτικών των ανωτέρων στοιβάδων και του πυρήνα που περιέχει Fe-Ni.

Σύμφωνα με υπολογισμούς βρέθηκε ότι περίπου το 90% της γης αποτελείται από 4 στοιχεία Fe, O, Si και Mg. Τα μόνα άλλα στοιχεία τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε μεγαλύτερες από 1% ποσότητες είναι τα Ni, Ca, Al, S. Επτά επίσης στοιχεία, δηλαδή τα Na, K, Cr, Co, P, Mn και Ti, μπορούν να απαντούν σε ποσότητες από 0,01 μέχρι 1%. Έτσι η γη αποτελείται σχεδόν στο σύνολό της από 15 στοιχεία. Η αναλογία των υπόλοιπων είναι πάρα πολύ μικρή, πιθανόν ένα χιλιοστό ή και λιγότερο στο σύνολο.

Στον πίνακα 12 δίνεται η σύσταση του συνόλου της μάζας της γης. Ο πίνακας 13 μας δίνει συγκριτικά τη σειρά εμφάνισης των πιο διαδεδομένων στοιχείων από άποψη συχνότητας α) στο γήινο φλοιό, β) στη σαν σύνολο, γ) στους μετεωρίτες (μέση σύσταση) και δ) στον Ήλιο. Γενικά είναι χαρακτηριστική η σχετική ομοιομορφία. Δηλαδή, τα ίδια σχεδόν στοιχεία εμφανίζονται σε όλες τις στήλες, κατά διαφορετική μόνο σειρά. Χαρακτηριστική είναι η σπανιότητα του H και He στη γη και τους μετεωρίτες. Αν όμως θεωρήσουμε τα μη πτητικά στοιχεία παρατηρούμε ότι ο Fe, το Si και το Mg βρίσκονται επικεφαλής και ακολουθούνται από τα Ni, Na, Ca και Al. Πάντως θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα πιο άφθονα στοιχεία είναι και χαμηλού ατομικού αριθμού.

Επίσης είναι χαρακτηριστικό, όπως φαίνεται από τον πίνακα 12, ότι οι κυριότερες διαφορές μεταξύ φλοιού και γης ως συνόλου είναι η μικρότερη περιεκτικότητα του φλοιού σε Fe και Mg, η μη εμφάνιση στο φλοιό Ni και S και η ύπαρξη σ' αυτόν των Al, K και Na σαν κύριων συστατικών. Αυτό σημαίνει ότι η αρχική διαφοροποίηση της γης οδήγησε σε μια συγκέντρωση στην επιφάνειά της σχετικά ελαφρών και

εύτηκτων αργιλοαλκαλικών πυριτικών ενώσεων ενώ συγχρόνως τα σχετικά βαριά και μη εύτηκτα σιδηρομαγνησιούχα πυριτικά βυθίστηκαν και συγκεντρώθηκαν στο μανδύα.

Πίνακας 12. Μέση σύσταση της γης. (Από Mason and Moore, 1982).

	Μέταλλο	Τροϊλίτης	Πυριτικά	Σύνολο
Fe	24,58	3,37	6,68	34,63
Ni	2,39			2,39
Co	0,13			0,13
S		1,93		1,93
O			29,53	29,53
Si			15,20	15,20
Mg			12,70	12,70
Ca			1,13	1,13
Al			1,09	1,09
Na			0,57	0,57
Cr			0,26	0,26
Mn			0,22	0,22
P			0,10	0,10
K			0,07	0,07
Ti			0,05	0,05
	27,10	5,30	67,60	100,00

Πίνακας 13. Σχετικές συχνότητες των στοιχείων.

Φλοιός	Σύνολο γης	Μετεωρίτες	Ήλιος
O	Fe	O	H
Si	O	Fe	He
Al	Mg	Si	O
Fe	Si	Mg	Fe
Ca	Ni	S	Mg
Na	S	Ni	N
K	Ca	Al	Si
Mg	Al	Ca	S
Ti	Co	Ma	C
H	Na	Cr	Ca
P	Mn	Mn	Al
Mn	K	K	Ni
S	Ti	Ti	Na
C	P	Co	Cr