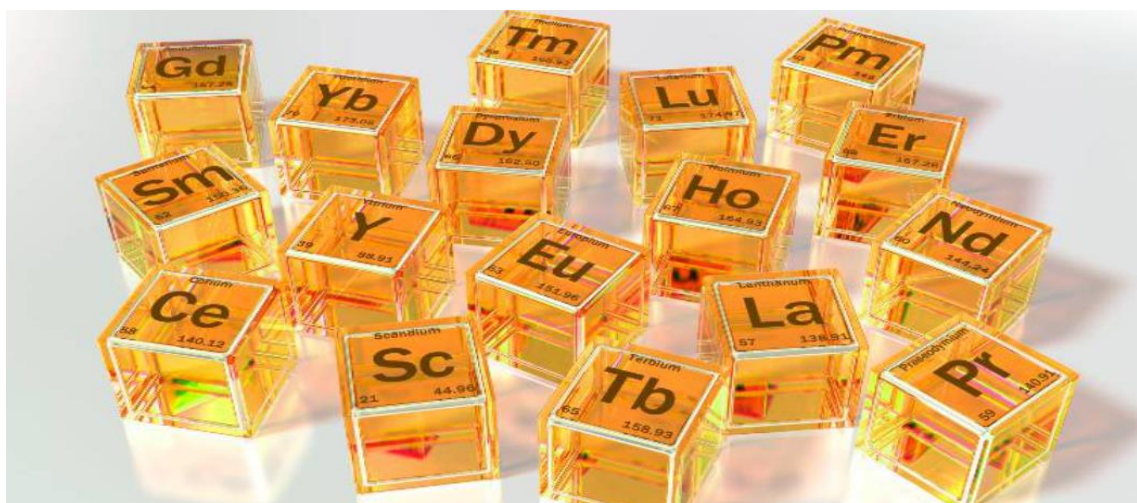




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών
Τομέας Μεταλλευτικής Τεχνολογίας
Μάθημα Σχεδιασμός Υπαιθρίων
Εκμεταλλεύσεων

ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ: ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΛΑΖΑΡΙΣ ΛΙΣΑΝΤΕΡ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
ΜΑΡΙΑ ΜΕΝΕΓΑΚΗ

Περίληψη

Η βαθμιαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η ανάγκη για την συνεχή αναβάθμισή της, στηρίζεται σε μια ιδιαίτερη ομάδα χημικών στοιχείων, τις σπάνιες γαίες. Η σημαντικότητα αυτών των μετάλλων στην παγκόσμια ζήτηση και στην οικονομία είναι τεράστια. Οι πολλαπλές εφαρμογές που βρίσκουν στη βιομηχανία, στην ιατρική, στη γεωργία και στα αμυντικά συστήματα τα καθιστούν αναντικατάστατα για την καθημερινότητα των ανθρώπων.

Στη διπλωματική παρουσιάζονται τα στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία των σπανίων γαιών, περιγράφονται οι χρήσεις τους και οι τρόποι εκμετάλλευσής τους. Ταυτόχρονα αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την εκμετάλλευση και τη χρήση τους, καθώς χαρακτηρίζονται και ως μια επικίνδυνη πηγή αποβλήτων και ραδιενέργειας, και περιγράφονται οι τρόποι αντιμετώπισής τους.

Από τη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας φαίνεται ότι οι σπάνιες γαίες θα παίξουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον, καθώς η αξιοποίησή τους σε διάφορες τεχνολογικές χρήσεις διευρύνεται συνεχώς. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα όμως είναι υπαρκτά και θα πρέπει να αντιμετωπισθούν άμεσα μέσω κατάλληλων τεχνολογιών. Η εφαρμογή ορθών πολιτικών διαχείρισης θα παίξει καθοριστικό ρόλο προς αυτή την κατεύθυνση.

Abstract

The gradual evolution of technology and the need for its continuous upgrading is based on a particular group of chemical elements, rare earths. The importance of these metals in global demand and in the economy is enormous. The multiple applications of rare earths in industry, medicine, agriculture and defence systems make them irreplaceable for people's everyday lives.

The diploma thesis presents the elements that belong to the category of rare earths, describes their uses and the ways of their exploitation. At the same time, the environmental impacts of their exploitation and use are analyzed, as they are characterized as a dangerous source of waste and radioactivity. The ways to deal with these problems are also described.

The literature review shows that rare earths will play an important role in the future, as their utilization in various technological uses is constantly expanding. However, environmental problems do exist and should be addressed immediately through appropriate technologies. Implementing sound management policies will play a key role towards this direction.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	1
1.1.Ορισμός	1
1.2.Σπάνιες γαίες και ορυκτά	2
1.3.Λανθανίδες	4
2.Γεωλογία και Κοιτασματολογία σπανίων γαιών.....	9
2.1.Συγκεντρώσεις σπανίων γαιών	11
2.2.Προσχωματικά κοιτάσματα	11
2.3.Κοιτάσματα σπανίων γαιών σε παγκόσμια κλίμακα	12
2.4.Ορυκτά σπανίων γαιών	13
2.4.1.Μοναζίτης (Monazite)	13
2.4.2.Μπαστνασίτης (Bastnesite).....	14
2.4.3.Ξενότιμο (Xenotime).....	15
3. Σπάνιες γαίες και τεχνολογίες.....	15
3.1. Βασικές χρήσεις και εφαρμογές σπανίων γαιών	16
3.1.1. Καταλύτες.....	16
3.1.2. Μαγνήτες	16
3.1.3. Φωταύγεια	17
3.2. Σπάνιες γαίες στη γεωργία.....	17
3.3. Σπάνιες γαίες στην ιατρική	18
3.4.Γενικότερες εφαρμογές	19
3.5.Χρήσεις και εφαρμογές σπανίων γαιών ανά στοιχείο	19
3.6. Ανακύκλωση σπανίων γαιών	24
4. Σπάνιες γαίες και παγκόσμια οικονομία	26
4.1.Οικονομία και παγκόσμια παραγωγή	26
4.1.1. Αποθέματα	28
4.1.2. Παραγωγή	31
4.2.Παγκόσμια ζήτηση.....	37
4.3. Τιμές και εμπόριο σπανίων γαιών	40
4.3.1. Ισοζύγιο ζήτησης – προσφοράς έναντι τιμών	44
5. Ορυχεία σπανίων γαιών ανά τον Κόσμο	51

5.1. Ορυχείο Bayan Obo	51
5.1.1. Εξόρυξη στο Bayan Obo	55
5.1.2. Επεξεργασία μεταλλεύματος	55
5.2. Ορυχείο Mountain Pass	57
5.3. Ορυχείο Mt Weld.....	61
5.4. Ορυχείο Bokan-Doston	65
5.4.1. Αποθέματα σπανίων γαιών στο Bokan-Dotson Ridge.....	67
5.5. Ορυχείο Nolans	68
6. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σπανίων γαιών	72
6.1 . Μεταλλουργική επεξεργασία.....	72
6.2. Ταξινόμηση ραδιενεργών και μη ραδιενεργών απόβλητων	74
6.2. Αέρια ρύπανση.....	76
6.3. Στερεά απόβλητα.....	77
6.4. Υγρά απόβλητα	77
7. Οικοσύστημα και σπάνιες γαίες.....	79
7.1. Φαινόμενα μεγάλων διαρροών από ραδιενεργά στοιχεία	79
7.1.1. Κίνα.....	79
7.1.2. Μαλαισία	82
7.2. Αλληλεπίδραση Θορίου και Ουρανίου με τον άνθρωπο και το περιβάλλον	83
7.3. Επιδημιολογικά στοιχεία σε σχέση με τις σπάνιες γαίες.....	86
7.4. Αναφορές κινδύνων από σπάνιες γαίες	88
7.4.1. Διαφυγή μολυσμένου νερού.....	89
7.4.2. Διαφυγή σκόνης	90
7.4.3. Γενικοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι	91
8. Αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων.....	92
8.1. Αποκατάσταση χώρου των ορυχείων.....	94
8.1.1. Σταθερότητα του εδάφους.....	95
8.1.2. Παραγωγικότητα του εδάφους	95
8.1.3. Οπτική αποκατάσταση	96
8.2. Ανακύκλωση σπανίων γαιών.....	97
8.2.1. Αντιμετώπιση Θορίου	99

8.3. Πολιτικές προστασίας του περιβάλλοντος	101
8.3.1. Κίνα.....	102
8.3.2. Παγκόσμια αντιμετώπιση	105
9. Συμπεράσματα	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	112

1. Εισαγωγή

Η βαθμιαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η ανάγκη για την συνεχή αναβάθμισή της, στηρίζεται, σε μεγάλο βαθμό, σε μια ιδιαίτερη ομάδα χημικών στοιχείων, τις σπάνιες γαίες. Η σημαντικότητα αυτών μετάλλων στην παγκόσμια ζήτηση και στην οικονομία είναι τεράστια. Οι σπάνιες γαίες σήμερα έχουν μπει στην ζωή μας μέσω τεχνολογιών, οι οποίες στην ουσία βασίσθηκαν στις σημαντικές και ξεχωριστές ιδιότητες αυτών των χημικών στοιχείων. Η εξάρτηση των σύγχρονων τεχνολογιών από τις σπάνιες γαίες έχει ως αποτέλεσμα την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, των στοιχείων αυτών, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς. Διαφαίνεται λοιπόν ότι οι σπάνιες γαίες θα αποτελέσουν βασικό υλικό στην εξέλιξη του σύγχρονου πολιτισμού.

1.1.Ορισμός

Με τον όρο σπάνιες γαίες ονομάζονται, τα μέταλλα των οποίων τα οξείδια είναι γαιώδους μορφής και εξαιρετικής σπανιότητας. Οι σπάνιες γαίες (REEs - RareEarthElements) αποτελούνται από 17 χημικά στοιχεία του περιοδικού πίνακα, 15 από αυτά βρίσκονται εντός της ομάδας των Λανθανίδων, ενώ την ομάδα αυτή συμπληρώνουν το Σκάνδιο (Sc) και το Ύτριο (Y).

1 H Hydrogen 1.00794																	2 He Helium 4.003																												
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182																	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.006434	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797																						
11 Na Sodium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050																	13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948																						
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938049	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933200	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.92160	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80																												
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29																												
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.905	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.078	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98039	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)																												
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110	111	112	113	114																																
<table border="1"> <tr> <td>58 Ce Cerium 140.116</td> <td>59 Pr Praseodymium 140.90766</td> <td>60 Nd Neodymium 144.242</td> <td>61 Pm Promethium (145)</td> <td>62 Sm Samarium 150.36</td> <td>63 Eu Europium 151.964</td> <td>64 Gd Gadolinium 157.25</td> <td>65 Tb Terbium 158.92534</td> <td>66 Dy Dysprosium 162.50</td> <td>67 Ho Holmium 164.93032</td> <td>68 Er Erbium 167.259</td> <td>69 Tm Thulium 168.9304</td> <td>70 Yb Ytterbium 173.054</td> <td>71 Lu Lutetium 174.967</td> </tr> <tr> <td>90 Th Thorium 232.0381</td> <td>91 Pa Protactinium 231.03588</td> <td>92 U Uranium 238.02891</td> <td>93 Np Neptunium (237)</td> <td>94 Pu Plutonium (244)</td> <td>95 Am Americium (243)</td> <td>96 Cm Curium (247)</td> <td>97 Bk Berkelium (247)</td> <td>98 Cf Californium (251)</td> <td>99 Es Einsteinium (252)</td> <td>100 Fm Fermium (257)</td> <td>101 Md Mendelevium (258)</td> <td>102 No Nobelium (259)</td> <td>103 Lr Lawrencium (262)</td> </tr> </table>																		58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.9304	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.967	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)
58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.9304	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.967																																
90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03588	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)																																

Εικόνα 1.1. Περιοδικός πίνακας και απεικόνιση του διαχωρισμού των σπάνιων γαιών σε HREE και LREE (Shculer et al., 2011).

Ο όρος «σπάνιες γαίες» οφείλεται κυρίως στην πολυπλοκότητα και την σύνθετη διαδικασία απομόνωσης των συγκεκριμένων μετάλλων. Οι σπάνιες γαίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, με βάση τον ατομικό αριθμό των στοιχείων. Στην πρώτη εντάσσονται τα στοιχεία που έχουν μικρό ατομικό αριθμό, τα οποία ονομάζονται ελαφριά στοιχεία LREE (LightRareEarthElements) και είναι αυτά που συναντάμε πιο συχνά. Στην Δεύτερη κατηγορία, εντάσσονται τα στοιχεία με μεγαλύτερο ατομικό αριθμό τα οποία ονομάζονται βαριά στοιχεία HREE (HeavyRareEarthElements).

1.2.Σπάνιες γαίες και ορυκτά

Οι σπάνιες γαίες που βρίσκονται ελεύθερες στο φλοιό της γης, διακρίνονται από την μεταλλική τους λάμψη, είναι αργυρόχρωα και τέλος είναι αρκετά δραστικά μέταλλα. Σχηματίζουν οξείδια και αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Τα μέταλλα αυτά είναι αναγωγικά στοιχεία και αντιδρούν με το νερό (H₂O). Επίσης τα οξεία τους εκλύουν αέριο υδρογόνο (H₂) κατά την αντίδρασή τους. Σε υψηλές θερμοκρασίες αντιδρούν και με αμέταλλα στοιχεία όπως το H₂, το N₂ και το Cl₂.

Το μεγαλύτερο ποσοστό σε σπάνιες γαίες περιέχεται σε ορυκτά όπως ο μπαστνασίτης (bastnaesite), το ξενότιμο (xenotime) και ο μοναζίτης (monazite). Ωστόσο ο συνολικός αριθμός των ορυκτών που είναι γνωστά ότι περιέχουν ποσότητες σπανίων γαιών αγγίζει τα 200 (π.χ. βριθολίτης, ανκυλίτης, σαμαρσκίτης, αλλανίτης κλπ.), αν και οι περιεκτικότητές τους είναι πολύ μικρές.

Μια αρκετά μεγάλη πηγή σπανίων γαιών αποτελεί το ορυκτό του μπαστναζίτη, καθώς χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιεκτικότητα LREE (ελαφριών σπανίων γαιών) και λιγότερο σε HREE (βαρέων σπανίων γαιών). Στην ίδια κατηγορία ανήκει και ο μοζανίτης που είναι πιο κοινό ορυκτό σε σύγκριση με το μπαστναζίτη. Τέλος το σημαντικότερο από τα τρία ορυκτά είναι το ξενότιμο. Το ξενότιμο παρόλο που περιέχει περισσότερες LREE απ' ότι HREE, ξεχωρίζει επίσης επειδή συναντάμε μεγαλύτερες περιεκτικότητες HREE από τα προηγούμενα 2 ορυκτά.

Πίνακας 1.2. Μερικά από τα πιο κοινά ορυκτά REE, πηγή: Wall (2014).

Mineral	Formula	Wt.% REO	Th,U	Other REE variant
Carbonates and fluorcarbonates				
Ancylite (Ce)	$\text{SrCe}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$	43	-	La
Bastnäsite (Ce)	CeCO_3F	75	-	La,Nd, Y
Huanghoite (Ce)	$\text{BaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$	40	-	
Parisite (Ce)	$\text{CaCe}(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$	50	-	Nd
Synchysite (Ce)	$\text{CaCe}(\text{CO}_3)_2\text{F}$	51	-	Nd, Y
Phosphates				
Apatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F,Cl,OH})$	-	-	-
Cheralite	$\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$	Variable	M	
Churchite (Y)	$\text{YPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	51	V	Nd
Florencite (Ce)	$(\text{Ce})\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$	32	-	Sm
Monazite (Ce)	CePO_4	70	V	La, Nd, Sm
Xenotime (Y)	YPO_4	61	V	Yb
Oxides				
Aeschnite (Ce)	$(\text{Ce,Ca, Fe, Th})(\text{Ti,Nb})_2(\text{O,OH})_4$	32	V	Nd, Y
Cerianite (Ce)	CeO_2	100	V	-
Loparite (Ce)	$(\text{Ce, La, Nd, Ca,Sr})(\text{Ti, Nb})\text{O}_3$	30	-	
Yttrpyrochlore (Y)	$(\text{Y,Na,Ca,U})_{1-2}\text{Nb}_2(\text{O,OH})$	17	V	
Silicates				
Allanite (Ce)	$\text{CaNdAl}_2\text{Fe}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	23	V	La,Nd, Y
Britholite (Ce)	$(\text{Ce,Ca,Sr})_2(\text{Ce,Ca})_3(\text{SiO}_4\text{PO}_4)_3(\text{O,OH,F})$	23	V	Y
Eudialyte	$\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O,OH,H}_2\text{O})(\text{Cl,OH})_2$	9	-	
Fergusonite (Ce)	$\text{CaNdAl}_2\text{Fe}^{2+}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	53	-	Nd, Y
Gadolinite (Ce)	$\text{Ce}_2\text{Fe}^{2+}\text{Be}_2\text{O}_2(\text{SiO}_4)_2$	60	V	Y
Geranite (Y)	$\text{CaNdAl}_2\text{Fe}^{2+}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	44	-	Y
Kainosite (Y)	$\text{Ca}_2\text{Y}_2(\text{SiO}_3)_4(\text{CO}_3)\text{H}_2\text{O}$	38	-	
Keiviite (Y)	$\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7$	69	-	Yb
Steenstrupine (Ce)	$\text{Na}_{14}\text{Ce}_6(\text{Mn}^{2+})_2(\text{Fe}^{3+})_2\text{Zr}(\text{PO}_4)_7\text{Si}_{12}\text{O}_{36}(\text{OH})_{23}\text{H}_2\text{O}$	31	V	
Fluorides				
Fluocerite (Ce)	CeF_3	83	-	La

Πίνακας 1.2. Ταξινομήσεις στοιχείων REE σε ελαφριές σπάνιες γαίες (LREE) και βαριές σπάνιες γαίες (HREE) ανά τον κόσμο και τις περιφέρειες της Κίνας, πηγή: (IUPAC, 2005, China MLR I, II, από το Υπουργείο Χερσαίων Πόρων της Κίνας (DZ / T 02004-2002).

Element	Symbol	EURARE	IUPAC	China MLR		China State Council White Paper
				I	II	
Lanthanum	La	LREE	Unpaired electrons in 4f shells	LREE	LREE	LREE
Cerium	Ce					
Praseodymium	Pr					
Neodymium	Nd					
Samarium	Sm					
Europium	Eu	HREE	Paired electrons in 4f shells	MREE	HREE	
Gadolinium	Gd					
Terbium	Tb			MREE		
Dysprosium	Dy			■		
Holmium	Ho					
Erbium	Er			HREE		
Thulium	Tm					
Ytterbium	Yb					
Lutetium	Lu					
Yttrium	Y					
Scandium	Sc					

1.3. Λανθανίδες

Οι λανθανίδες είναι μέταλλα και αποτελούνται από 15 χημικά στοιχεία με ατομικό αριθμό 57 έως 71. Βρίσκονται στη 6^η περίοδο του περιοδικού πίνακα, όμως απεικονίζονται ξεχωριστά στην προτελευταία σειρά κάτω από το κύριο σώμα του περιοδικού πίνακα καθώς αποτελούν μια ξεχωριστή κατηγορία χημικών στοιχείων. Το όνομα λανθανίδες προέρχεται από το πρώτο χημικό στοιχείο της ομάδας, το λανθάνιο, ενώ το κύριο χαρακτηριστικό τους που τις υπάγει στην ίδια κατηγορία είναι ότι παρουσιάζουν σχεδόν τις ίδιες φυσικές και χημικές ιδιότητες.

Τα χημικά στοιχεία που αποτελούν τις σπάνιες γαίες είναι:

- **Λανθάνιο (La):** Το χημικό στοιχείο Λανθάνιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 57 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 138,9055 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 920 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3469 °C. Αποτελεί το πρώτο μέλος της ομάδας των Λανθανίδων. Το λανθάνιο

ανακαλύφθηκε το 1893 σε ορυκτά του Δημητρίου από τον Mosander και η ονομασία του προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα λανθάνειν, που σημαίνει περνά απαρατήρητος, καθώς κατά τη διάρκεια μελέτης του, ο Mosander αδυνατούσε να το ταυτοποιήσει με τις κλασικές μεθόδους, καθώς παρουσίαζε ακριβώς τις ίδιες αντιδράσεις με το Δημήτριο.

- **Δημήτριο (Ce):** Το χημικό στοιχείο Δημήτριο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 58 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 140,12 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 795 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3257 °C. Το Δημήτριο ανακαλύφθηκε το 1803 σε ορυκτό σουηδικής προέλευσης και πήρε το όνομα του από τον Berzelius και Χάινριχ Κλάπορτ Μάρτιν προς τιμή της ανακάλυψης από τον Πιάτζι (1801) του αστεροειδούς Δήμητρα.
- **Πρασινοδύμιο (Pr):** Το χημικό στοιχείο Πρασινοδύμιο ή Πρασεοδύμιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 59 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 140,9077 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 935 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3127 °C. Η ονομασία του προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις πράσιος ή αλλιώς πράσινος και δίδυμος και δόθηκε από τον C.A. Von Welsbach το 1885, ο οποίος διαπίστωσε ότι το πράσινο χρώμα του νιτρικού άλατος του μετάλλου του διδύμιου δεν είναι μόνο ένα μέταλλο άλλα 2 διαφορετικά. Το άλλο ήταν το Νεοδύμιο (Nd).
- **Νεοδύμιο (Nd):** Το χημικό στοιχείο Νεοδύμιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 60 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 144,242 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1010 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3127 °C. Η ονομασία του προέρχεται από τις αρχαία ελληνική νέος και δίδυμος που δόθηκε από τον C.A. Von Welsbach το 1885 παρατηρώντας το μέταλλο του διδύμιου.

- **Προμήθειο (Pm):** Το χημικό στοιχείο το Προμήθειο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 61 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 145 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1042 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3000 °C. Η ανακάλυψη του έγινε τεχνητά από μία ερευνητική ομάδα με τα επικεφαλής τον Τσαρλς Κορυέλ το 1945 και είναι το τελευταίο υπο-ουράνιο στοιχείο. Το Προμήθειο είναι ένα εξαιρετικά ραδιενεργό στοιχείο με το χρόνο ζωής του να μην ξεπερνάει τα 17,7 έτη.
- **Σαμάριο (Sm):** Το χημικό στοιχείο Σαμάριο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 62 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 150,4 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1072 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 1794 °C. Η ονομασία του προέρχεται από την λατινική λέξη samarium και δόθηκε το 1879 προς τιμήν του Γάλλου χημικού Λεκόκ Ντε Μπουαμπωντράν, ο οποίος το ανακάλυψε φασματοσκοπικά από ακάθαρτο οξειδίο του ορυκτό σαμαρσκίτης.
- **Ευρώπιο (Eu):** Το χημικό στοιχείο Ευρώπιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 63 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 151,96 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 822 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 1597 °C. Η ανακάλυψή του προέρχεται από το Γάλλο χημικό Εζέν Ανατόλ Νεμαρσέ το 1901 και η ονομασία του πηγάζει από τη νεολατινική λέξη europium και την αρχαία ελληνική Ευρώπη. Το ευρώπιο το συναντάμε σε σχηματισμούς ασθενούς ροδόχρου οξειδίου και άλατα. Είναι ένα λαμπερό αλλά παράλληλα τοξικό μέταλλο.
- **Γαδολίνιο (Gd):** Το χημικό στοιχείο Γαδολίνιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 64 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 157,25 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1311 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3233 °C. Η ονομασία του προέρχεται από το Φινλανδό χημικό και γεωλόγο Γιόχαν Γκαδολίν, οπότε και πήρε το όνομα του. Η ανακάλυψη του έγινε από το Γιεν

Καρλς Γκαλισταρντ το 1880. Τα διαλύματα των οξειδίων που σχηματίζει το Γαδολίνιο καθώς και τα άχρωα άλατά του, δείχνουν φάσμα απορρόφησης μόνο στο υπεριώδες.

- **Τέρβιο (Tb):** Το χημικό στοιχείο Τέρβιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 65 ενώ το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 158,925 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1360 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3041 °C. Η ονομασία του προέρχεται από την σουηδική λέξη Ytterby, το οποίο είναι ένα χωριό στην Σουηδία, όπου βρίσκεται το μεταλλείο του Ytterby. Η ανακάλυψή του έγινε από τον Καρλ Γκούσταφ Μοσάντερ το 1843.
- **Δυσπρόσιο (Dy):** Το χημικό στοιχείο Δυσπρόσιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 66 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 162,5 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1407 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 2562 °C. Η ονομασία του προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη δυσπρόσιτος. Ανακαλύφθηκε στο Παρίσι το 1886 από τον Λεκόκ ντε Μπαμπουντράν.
- **Όλμιο (Ho):** Το χημικό στοιχείο Όλμιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 67 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 164,9304 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1470 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 2720 °C. Η ονομασία του προήλθε από το Σουηδό Κλέβε όπου έδωσε το όνομα της γενέτειρας πόλης του, της Στοκχόλμης. Νωρίτερα το 1878 είχε προηγηθεί η ανακάλυψη του στη Γενεύη από τους Ελβετούς ερευνητές Ντελαφοντέν και Σορέ.
- **Έρβιο (Er):** Το χημικό στοιχείο Έρβιο είναι ένα αργυρόλευκο στερεό μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 68 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 167,26 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1522 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 2510 °C. Πήρε το όνομά του από το χωριό όπου ανακαλύφθηκε, στην Σουηδία, Το Ytterby το 1842 από τον Καρλ Γκούσταφ

Μοσάντερ. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου στοιχείου είναι ότι πάντα βρίσκεται σε χημικό συνδυασμό με άλλα στοιχεία στη Γη.

- **Θούλιο (Tm):** Το χημικό στοιχείο Θούλιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 6 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 168,934 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1545 °C, ενώ το σημείο βρασμού στους 1950 °C. Ανακαλύφθηκε το 1879 από τον Σουηδό χημικό Περ Τεοδώρ Κλεβ. Η όψη του Θουλίου είναι φωτεινή ασημένια έως λαμπερό γκρι.
- **Υττέρβιο (Yb):** Το χημικό στοιχείο Υττέρβιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 70 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 173,04 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 824 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 1466 °C. Το Υττέρβιο ανακαλύφθηκε το 1878 στο Μαρίγνακ της Γαλλίας οπού και πήρε το όνομα του. Το οξείδιο που σχηματίζει το Υττέρβιο είναι λευκό, ενώ τα άλατά του είναι άχρωα και δεν δίνουν χαρακτηριστικό φάσμα απορρόφησης.
- **Λουτήτιο (Lu):** Το χημικό στοιχείο Λουτήτιο ή Λουτέτσιο είναι μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 71 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 174,967 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1656 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3315 °C. Η ανακάλυψη του έγινε το από τον Γάλλο χημικό Ζωρζ Υρπαίν το 1907 και η ονομασία του προέρχεται από το όνομα της Ρωμαϊκής πόλης, της Λουτεσίας, η οποία ήταν χτισμένη στην θέση του σημερινού Παρισιού.
- **Ύττριο (Y):** Το χημικό στοιχείο Ύττριο είναι μέταλλο μετάπτωσης και χημικά παρόμοιο με τις λανθανίδες, έχει ατομικό αριθμό (Z) 39 και το ατομικό του βάρος (A_r) είναι 88,906 g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1979 °C ενώ το σημείο βρασμού στους 3336 °C. Η ανακάλυψή του έγινε το 1789 από τον Γιόχαν Γκούσταφ, όπου βρήκε οξείδιο του Ύττριου σε ένα δείγμα του Αρρένιους. Ο Κάρλ Άλεξ Αρρένιους 2 χρόνια νωρίτερα το

1987 ανακάλυψε το ορυκτό στο Ύττερμπυ της Σουηδίας και το ονόμασε υττερβίτη (αρχική ονομασία ορυκτού), όνομα που προήλθε από το χωρό αυτό. Η πρώτη φορά που το στοιχείο του Υτρίου απομονώθηκε ήταν το 1828 από τον Φρίντριχ Βέλερ.

- **Σκάνδιο (Sc):** Το χημικό στοιχείο Σκάνδιο είναι αργυρόλευκο μέταλλο, έχει ατομικό αριθμό (Z) 21 και το ατομικό του βάρος (A_r) 44,956 είναι g/mol. Το σημείο τήξης του βρίσκεται στους 1541 °C, ενώ το σημείο βρασμού στους 2836 °C. Η ανακάλυψή του έγινε από το Λαρς Φρέντρικ Νίλσον το 1879 στη Σκανδιναβία, με φασματοσκοπική ανάλυση σε μεταλλεύματα ευξενίτη και γαδολινίτη. Η ονομασία του προήλθε από την ευρύτερη περιοχή ανακάλυψης του την Σκανδιναβία.

2.Γεωλογία και Κοιτασματολογία σπανίων γαιών

Η εκτιμώμενη μέση συγκέντρωση των στοιχείων που ανήκουν στις σπάνιες γαίες στον φλοιό της γης, κυμαίνεται από περίπου 150 έως 220 ppm (parts per million) (πίνακας 2.1.), υπερβαίνει εκείνη πολλών άλλων μετάλλων που εξορύσσονται σε βιομηχανική κλίμακα, όπως ο Χαλκός (Cu) (55 ppm) και Ψευδάργυρος (Zn) (70 ppm). Σε αντίθεση όμως με τα περισσότερα βασικά και πολύτιμα μέταλλα η εξόρυξη των οποίων είναι οικονομικά συμφέρουσα για συγκεκριμένη βέβαια περιεκτικότητα , τα στοιχεία σπανίων γαιών, σπάνια μπορούν να εμφανίσουν υψηλές συγκεντρώσεις σε αποθέματα που θα επιτρέψουν την οικονομική τους εκμετάλλευση αυτοτελώς. Για τον λόγο αυτό η εκμετάλλευσή τους θεωρείται δύσκολη και τις περισσότερες φορές αντιοικονομική ως κύριο προϊόν εξόρυξης.

Πίνακας 2.1. Εκτιμήσεις αφθονίας των στοιχείων σπανίων γαιών με μονάδα μέτρησης τα ppm, πηγή: www.geology.com

Πίνακας 2.1. Αφθονία στοιχείων σπανίων γαιών σε ppm			
Στοιχείο σπάνιας γης	Wedephol (1995)	Lind (1997)	Mc Gill (1997)
Λανθάνιο	20	39	5 έως 18
Δημήτριο	60	66,5	20 έως 46
Πρασινοδύμιο	6,7	9,2	3,5 έως 5,5
Νεοδύμιο	27	41,5	12 έως 24
Προμήθειο	4,1	6,2	4,2 έως 6,1
Σαμάριο	5,3	7,05	4,5 έως 6,4
Ευρώπιο	1,3	2	0,14 έως 1,1
Γαδολίνιο	4	6,2	4,5 έως 6,4
Τέρβιο	0,65	1,2	0,7 έως 1
Δυσπρόσιο	3,8	5,2	4,5 έως 7,5
Όλμιο	0,8	1,3	0,7 έως 1,2
Έρβιο	2,1	3,5	2,5 έως 6,5
Θούλιο	0,3	0,52	0,2 έως 1
Υττέρβιο	2	3,2	2,7 έως 8
Λουτήτιο	0,35	0,8	0,8 έως 1,7
Ύττριο	24	33	28 έως 70
Σκάνιδο	16	22	5 έως 10
Σύνολο	188,4	248,37	

2.1. Συγκεντρώσεις σπανίων γαιών

Οι κύριες συγκεντρώσεις στοιχείων σπανίων γαιών σχετίζονται με ασυνήθιστες ποικιλίες πυριγενών πετρωμάτων, δηλαδή αλκαλικούς σχηματισμούς και καρμπονατίτες (Carbonatite). Οι δυνητικά χρήσιμες συγκεντρώσεις ορυκτών που φέρουν REE βρίσκονται επίσης σε αποθέσεις πλακούντα, υπολειμματικές εναποθέσεις που σχηματίζονται από βαθιά διάβρωση των πυριγενών πετρωμάτων, πηγματίτες, αποθέσεις Χαλκού-Χρυσού, σε αποθέσεις οξειδίων του Σιδήρου (FeO_x) και θαλάσσιων φωσφορικών αλάτων.

Οι σπάνιες γαίες αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία στοιχείων όσον αφορά στην κοιτασματολογία τους. Τα κοιτάσματα σπανίων γαιών αποτελούνται στην πλειοψηφία τους από δύο ορυκτές φάσεις, όμως συναντώνται και κοιτάσματα όπου οι σπάνιες γαίες συγκεντρώνονται σε μία φάση. Τα κοιτάσματα σπανίων γαιών χαρακτηρίζονται από την πολυπλοκότητα στον χημισμό τους, στην ορυκτολογία τους και τα ποίκιλα ποσά ραδιενέργειας. Ο διαχωρισμός των στοιχείων αυτών αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία, έτσι τα στοιχεία με δύο ή περισσότερες ορυκτές φάσεις μειονεκτούν από πλευράς οικονομικότητας σε σύγκριση με αυτά που έχουν μια ορυκτή φάση (λιγότερη δαπανηρή διαδικασία). Τέτοιου είδους κοιτάσματα συναντώνται στην Κίνα στο Bayan Obo και στην περιοχή Mountain Pass στην Καλιφόρνια, όπου έχουμε εκμετάλλευση μαστνασίτη, άλλα και μοναζίτη σε προσχωματικά κοιτάσματα. Οι ελαφριές σπάνιες γαίες παρουσιάζουν μεγάλη αφθονία σε σύγκριση με τις βαριές, οι οποίες εντοπίζονται συνήθως σε κοιτάσματα όπου φιλοξενείται το ορυκτό ξενότιμο (Long et. al., 2010).

2.2. Προσχωματικά κοιτάσματα

Η σύνθεση των προσχωματικών κοιτασμάτων αποτελείται από άμμο και χαλίκια, τα οποία προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων, όπως και την μεταφορά και απόθεση των βαρύτερων ορυκτών τους σε μορφολογικά χαμηλότερες περιοχές όπως ρεύματα, ποτάμια και παραλίες. Στην πλειοψηφία τους τα προσχωματικά κοιτάσματα

συναντώνται και ως αλλουβιακά κοιτάσματα. Σε παγκοσμία κλίμακα και πιο συγκεκριμένα στην Αμερική, οι προσχωσιγενείς αποθέσεις μοναζίτη, αποτελούν πολύτιμη πηγή σπανίων γαιών άλλα και ραδιενεργούς Θορίου. Ενώ μια από τις μεγαλύτερες πηγές Θορίου συναντώνται στα αλλουβιακά κοιτάσματα μοναζίτη στο Coastal Belt της Νότιας Ινδίας. Αυτά τα κοιτάσματα μοναζίτη χαρακτηρίζονται από βαρέα ορυκτά τα οποία βρίσκονται σε λίμνες, σε ρηχές θάλασσες, σε τμήματα παραλίων, σε αμμόλοφους ποταμών άλλα και στα δέλτα τους (Bhola and others, 1958). Η μεγάλη αντοχή του μοναζίτη στην χημική αποσάθρωση καθώς και το μεγάλο ειδικό του βάρος, δείχνουν τη συσχέτιση του με προσχωματικά κοιτάσματα τα οποία περιέχουν και άλλα ανθεκτικά βαρέα ορυκτά όπως ο ιλμενίτης, ο μαγνητίτης, το ρουτίλιο και το ζιρκόνιο. Οι ιδιαιτερότητα αυτών των ορυκτών είναι το μαύρο τους χρώμα, τι οποίο οφείλεται στο μείγμα των οξειδίων του σιδηρού. Ο μοναζίτης προέρχεται από πετρώματα αλκαλικής σύστασης, τα οποία μεταφέρονται και αποτίθενται στα κατάντη μέσω αλλουβιακών διεργασιών. Το πλεονέκτημα της εξόρυξης σπανίων γαιών και Θορίου από προσχωματικά κοιτάσματα, είναι ότι αποτελεί πιο εύκολη διαδικασία συγκριτικά με την εξόρυξη από πετρώματα, ενώ παράλληλα προσφέρει την δυνατότητα ανάκτησης μετάλλων όπως το Τιτάνιο από τον ιλμενίτη και το ρουτίλιο, σίδηρο από μαγνητίτη, Ζιρκόνιο και Αφνίο από το ζιρκόνιο, όπως επίσης και βιομηχανικά ορυκτά, δηλαδή γρανάτη, σταυρολίθο, τουρμαλίτη, κυανίτη και σιλμιανίτη, τα οποία χρησιμοποιούνται ως λειαντικά (Long et. al., 2010).

2.3.Κοιτάσματα σπανίων γαιών σε παγκόσμια κλίμακα

Το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής σπανίων γαιών το κατέχει η Κίνα, με ποσοστό σχεδόν το 95%. Προσχωματικά κοιτάσματα μοναζίτη όμως εντοπίζονται και στην Αμερική, στην περιοχή Carolina Piedmont στην Βόρεια και Νότια Καρολίνα. Επίσης κοιτάσματα συναντώνται σε παράλιες αποθέσεις στα Βορειοανατολικά της Φλόριντα μέχρι τα Νοτιοανατολικά της Georgia και στις κοιλάδες του Idaho (Long et. al., 2010). Στην Ευρώπη, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για πρωτογενή κοιτάσματα σπανίων γαιών έχει η Γροιλανδία (Δανία) και οι Σκανδιναβικές χώρες, ενώ για δευτερογενή κοιτάσματα η Βορειοδυτική Γαλλία, η Ελλάδα και τα Δυτικά Βαλκάνια (Arvanitidis and Goodenough, 2014).

2.4.Ορυκτά σπανίων γαιών

Τα ορυκτά τα όποια περιλαμβάνουν στοιχεία σπανίων γαιών, αποτελούν μια μεγάλη ομάδα ορυκτών με μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον. Τα ορυκτά εκείνα που απασχολούν κυρίως την μεταλλευτική δραστηριότητα λόγω της υψηλής οικονομικής τους αξίας είναι λίγα. Σε αυτά τα ορυκτά περιλαμβάνονται ο μοναζίτης, ο μπαστνασίτης και το ξενότιμο, ενώ την ομάδα συμπληρώνουν ο αλλανίτης, ο βριθολίτης και ο ανκυλίτης.

2.4.1.Μοναζίτης (Monazite)

Ο χημικός τύπος του μοναζίτη είναι RE_2PO_4 . Είναι ένα φωσφορικό ορυκτό σπανίων γαιών το οποίο κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα. Αποτελεί το πιο κοινό και ανεξάρτητο ορυκτό σπανίων γαιών στη φύση. Συναντάται ως επουσιώδες ορυκτό σε γρανιτικά και μεταμορφωμένα πετρώματα. Είναι ένα χημικά ανθεκτικό ορυκτό, ενώ η εμφάνιση του παρατηρείται κατά την διαδικασία αποσάθρωσης σε άμμους παράλιας και ποτάμια. Σε προσχωματικά κοιτάσματα, ο μοναζίτης αποτελεί υποπροϊόν εξόρυξης Τιτανίου και Κασσιτέρου (Mariano 1989). Ο μοναζίτης τις περισσότερες φορές παρουσιάζει επιλεκτικότητα στις ελαφριές σπάνιες γαίες (HREE).

Κύρια πηγή μοναζίτη παγκοσμίως αποτελούν οι μαύρες άμμοι και σε όλες τις περιπτώσεις η κατανομή των σπανίων γαιών δείχνει ότι οι HREE κυριαρχούν. Ο μοναζίτης εμφανίζεται στη φύση σε μια απόχρωση κίτρινου χρώματος. Μια ιδιαίτερη όμως μορφή του ορυκτού είναι ο σκούρος μοναζίτης. Το χρώμα του είναι σκούρο γκρι έως μαύρο και χημικά περιέχει περισσότερο SiO_2 και Eu_2O_3 ενώ το Θούριο (Th) σε σχέση με το κιτρίνη μοναζίτη είναι λιγότερο.

Υπεργενετικοί και υδροθερμικής προέλευσης μοναζίτες, συνιστούν μεγάλη χωρητικότητα σε καρμπονατίτες (carbonatite) οι οποίοι έχουν έντονη λατεριτική διάβρωση. Αυτοί συναντώνται περιοχή Araxa στη Minas και στην περιοχή Catalao I στο Goiás στην Βραζιλία και στο Mt. Weld της Αυστραλίας (Mariano, 1989). Στα κοιτάσματα αυτά ο μοναζίτης δημιουργείται από την απελευθέρωση σπανίων γαιών οι οποίες προέρχονται από τον ασβεστίτη, τον δολομίτη και τον απατίτη κατά την αποσάθρωση τους, αλλά και την επακόλουθη ανασύσταση με την φωσφορική ρίζα. Σχεδόν κατά κανόνα, ο υπεργενετικός μοναζίτης παρουσιάζει αξιοσημείωτη μείωση

σε Δημήτριο (Ce) συγκριτικά με μοναζίτες ενδογενετικής προέλευσης, ως αποτέλεσμα της οξειδωσης από Ce^{3+} σε Ce^{4+} (Mariano, 1989).

2.4.2.Μπαστνασίτης (Bastnesite)

Ο χημικός τύπος τους μπαστνασίτη είναι $(REE)(CO_3)F$. Ο μπαστνασίτης αποτελεί το σημαντικότερο ορυκτό σπανίων γαιών, το οποίο το συναντάται επουσιώδες ορυκτό σε πετρώματα πυριγενούς ή υδροθερμικής προέλευσης. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα συναντώνται σε περιοχές όπως το Mt. Pass στην Καλιφόρνια, το Bayan Obo στην Κίνα, τη Wigu Hill στην Τανζανία και το Karonge στο Μπουρουντί. Υπάρχει μια ομάδα ορυκτών με χημική σύσταση ανάλογη του μπαστνασίτη και αυτή ονομάζονται ορυκτά της ομάδα του μπαστνασίτη (Fleischer, 1987). Πολλά από τα ορυκτά έχουν ενταχθεί σε διαφορετικά κρυσταλλικά συστήματα (Donnay & Donnay, 1953). Λόγω της αναγνώρισης των δομικών διαφορών, η ομάδα του μπαστνασίτη που είχε οριστεί προηγουμένως, δεν αναφέρεται πλέον ως ομάδα με ενιαία δομή (Fleischer, 1978). Στη καθαρή του μορφή, ο μπαστνασίτης είναι μέλος των ανθρακικών αλάτων.

Έχει παρατηρηθεί μεγάλη ποικιλία του μπαστνασίτη με παρουσία στοιχείων Ce, La, Nd, και Y σε κρυσταλλογραφικές θέσεις και άλλα μέλη που έχουν $(OH) > F$ (Fleischer, 1978). Ωστόσο, ο μπαστνασίτης παρουσιάζει εμπλουτισμό σε ελαφρές σπάνιες γαίες στα μέρη όπου συγκεντρώνεται σε ποσότητες που αποτελούν κοιτάσμα.

Η πιο κοινή εμφάνιση του μπαστνασίτη είναι σε υδροθερμικά συστήματα, ωστόσο ο μπαστνασίτης στο Mt. Pass San Bernadino της Καλιφορνίας αποτελεί μια εξαίρεση καθώς εντοπίζεται σε πρωτογενή πυριγενή πετρώματα. Σύμφωνα σε τεκμηριωμένα στοιχεία, ο μπαστνασίτης κρυσταλλώνεται μαζί με ασβεστίτη και βαρύτη. Η συνηθισμένη υδροθερμική προέλευση του μπαστνασίτη στα περισσότερα γεωλογικά περιβάλλοντα, αποδεικνύεται από την μορφή του όπου είναι λεπτόκοκκος και ινώδης ή συναντάται σε μάζες μέσα σε ρωγμές και φλέβες που σχετίζονται με ορυκτά όπως ο χαλαζίας, ο φθορίτης, ο στροντιανίτης, ο βαρύτης και ο αιματίτης. Τέτοιες περιπτώσεις συναντώνται στο καρμονατίτη στο Wigu Hill της Τανζανίας (Deans, 1966) και σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό στο σιδηρούχο κοιτάσμα του Bayan Obo της Κίνας (Chap et al., 1989). Ο σχηματισμός ορυκτών τύπου μπαστνασίτη σε συνθήκες αποσάθρωσης είναι λιγότερο συχνός σε σχέση με τον μοναζίτη. Αυτό είναι

αποτέλεσμα της χημικής αστάθειας των ανθρακικών ορυκτών στις ζώνες αποσάθρωσης, αλλά και της συγγένειας που έχουν οι σπάνιες γαίες με την φωσφορική ρίζα (PO_4) κατά την αρχική κρυστάλλωση (Mariano, 1989).

2.4.3. Ξενότιμο (Xenotime)

Ο χημικός τύπος του ξενότιμου είναι YPO_4 . Το ξενότιμο είναι ένα φωσφορικό ορυκτό του Υτρίου. Έχει την ιδιαιτερότητα να κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό σύστημα ενώ δομικά προσομοιάζει το ζιρκόνιο. Η μονοκλινής δομή του ξενότιμου με αριθμό συναρμογής 9, δέχεται στο πλέγμα του μεγαλύτερα ιόντα σπανίων γαιών, τα οποία καταλαμβάνουν μεγαλύτερες θέσεις, ενώ οι σπάνιες γαίες με μεγαλύτερο ατομικό αριθμό, συμπεριλαμβανομένων του Τέρβιου και του Λουτέτσιου που έχουν μικρότερες ιοντικές ακτίνες, καταλαμβάνουν τις μικρότερες θέσεις του τετραγωνικού ξενότιμου με αριθμό συναρμογής 8.

Το ξενότιμο εντοπίζεται σε μικρές ποσότητες σε ποικίλα γεωλογικά περιβάλλοντα που περιλαμβάνουν όξινα έως αλκαλικής σύστασης πυριγενή πετρώματα, πηγματίτες, γνεύσιους και σχιστόλιθους. Κύρια πηγή του αποτελούν το προσχωματικά κοιτάσματα στη Μαλαισία, τη Ταϊλάνδη και την Αυστραλία, όπου και αποτελεί υποπροϊόν του Τιτανίου και του Κασσίτερου (Mariano, 1989).

3. Σπάνιες γαίες και τεχνολογίες

Οι σπάνιες γαίες συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην αναβάθμιση και στην τεχνολογική εξέλιξη πολλών σημαντικών για τον άνθρωπο επιστημών. Η σπουδαιότητα και η ανάγκη των σπανίων γαιών δεν περιορίζεται πλέον μόνο στην κατασκευή κραμάτων σε συνδυασμό με άλλα μέταλλα στην μεταλλουργία. Η τεχνολογική εξέλιξη τις τελευταίες δεκαετίες έδωσε ώθηση στις σπάνιες γαίες, ικανοποιώντας την ανάγκη για την κατασκευή ενός μεγάλου φάσματος από καταναλωτικά και μη αγαθά. Αμυντικά εθνικά συστήματα, ιατρική και πυρηνική τεχνολογία έχουν την τιμητική τους όσον αφορά την σπουδαιότητα των σπανίων γαιών. Αρκετές όμως είναι οι τεχνολογίες που εξαρτώνται από τις REE και τα προϊόντα τους. Εφαρμογές που έχουν σχέση με την ηλεκτρονική, την οπτική, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά και πολλά άλλα εργαλεία που αφορούν στην

βιομηχανία, εξαρτώνται πλέον από τις σπάνιες γαίες. Ο ρόλος στις εφαρμογές αυτές βασίζεται κυρίως στην εξοικονόμηση της ενέργειας και στην ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας

3.1. Βασικές χρήσεις και εφαρμογές σπανίων γαιών

3.1.1. Καταλύτες

Η σημασία που έχουν οι σπάνιες γαίες στην μετατροπή των πρωτογενών ρύπων της καύσης σε μη τοξικά συστατικά είναι καθοριστική. Η χρήση τους στην κατασκευή καταλυτών και η αντικατάσταση άλλων ακριβότερων μετάλλων όπως για παράδειγμα ο λευκόχρυσος, έχει μειώσει κατά πολύ το κόστος κατασκευής των καταλυτών. Ωστόσο η χρήση τους στο χώρο της αυτοκίνητο-βιομηχανίας δεν περιορίζεται μόνο έως εκεί, καθώς οι σπάνιες γαίες έχουν σημαντική δράση στην διαδικασία κατάλυσης του αργού πετρελαίου και της μετατροπής του σε άλλες αξιοποιήσιμες ενώσεις όπως η αμόλυβδη βενζίνη και η βενζίνη ντίζελ.

3.1.2. Μαγνήτες

Η εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και η ανάγκη για όλο και περισσότερα άλλα και μικρότερα σε μέγεθος γκάτζετς (gadgets), οδήγησε στην αυξημένη ζήτηση των μαγνητών από σπάνιες γαίες. Μια κατηγορία μαγνητών είναι και οι μαγνήτες Νεοδυμίου. Οι μαγνήτες Νεοδυμίου χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλή απόδοση και μικρό μέγεθος. Η χρήση τους εκτείνεται στα μικρόφωνα των κινητών τηλεφώνων (και γενικής χρήσης συσκευών μαγνητοφώνησης) καθώς και στην κατασκευή DVD αλλά και σκληρών δίσκων. Οι μαγνήτες όπου κατασκευάζονται από σπάνιες γαίες βρίσκουν εφαρμογή και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες για την αύξηση απόδοσης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν. Η χρήση των μαγνητών από σπάνιες γαίες αποσκοπεί στην εξοικονόμηση της κατανάλωσης την ενέργειας, με ποσοστά που αγγίζουν το 50%, κρατώντας παράλληλα υψηλή απόδοση.

3.1.3. Φωταύγεια

Η δυνατότητα των σπανίων γαιών να παρέχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση βοήθησε στην κατασκευή λαμπών υψηλής ενεργειακής τάξης κα σε λάμπες εξοικονόμησης ενέργειας, όπως οι τύπου LED, OLED και CFL. Χάρη στην ιδιότητα των σπανίων γαιών, την φωταύγεια, στηρίζεται και η κατασκευή των οθονών υψηλής ευκρίνειας, όπου σήμερα χρησιμοποιούμε καθημερινά μέσω των τηλεοράσεων, των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones).

3.2. Σπάνιες γαίες στη γεωργία

Οι ίδιες οι σπάνιες γαίες χρησιμοποιούνται στη γεωργία ως λίπασμα για τη βελτίωση της παραγωγής και της ανάπτυξης των καλλιεργειών, με σκοπό την αύξηση των συγκεντρώσεων του έδαφος σε θρεπτικά στοιχεία (Tyler, 2004). Γενικά, τα ανόργανα λιπάσματα (δηλαδή φωσφορικά λιπάσματα) και τα βελτιωτικά εδάφους περιέχουν μακροθρεπτικά συστατικά (Ca, Mg, N, P και S), μικροθρεπτικά συστατικά (όπως Fe και Si) και σπάνιες γαίες. Στα εδάφη, οι REE μπορεί επίσης να προέρχονται από τοπικά μητρικά πετρώματα (Liu, 1988). Τα λιπάσματα που περιέχουν REE εφαρμόζονται άμεσα σε μεγάλη κλίμακα σε φυτά της γεωργίας στην Κίνα για τη βελτίωση της απόδοσης και της ποιότητας (Guo et al., 1988, Diatloff et al., 1995). Οι συγκεντρωμένες αποθέσεις σπανίων γαιών έχουν αναφερθεί ότι είναι πολύ χαμηλές. Ωστόσο, η ικανότητα συσσώρευσης ενός συγκεκριμένου φυτού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τα είδη των φυτών, τις συνθήκες καλλιέργειάς τους, την περιεκτικότητα σε REE στο έδαφος ή το πέτρωμα του υποστρώματος (Fu et al., 2001). Για παράδειγμα, βρέθηκαν υψηλότερες τιμές στο ρύζι, που έδειξε ότι το ρύζι έχει μεγαλύτερη ικανότητα συσσώρευσης σε REE από το καλαμπόκι. Μετά την υπερβολική εφαρμογή των REE στη γεωργία, υπάρχει μια αυξανόμενη περιβαλλοντική ανησυχία ότι αυτά τα στοιχεία μπορεί να εισέλθουν στην τροφική αλυσίδα μέσω της πρόσληψης των φυτών, η οποία μπορεί να είναι επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία. Μερικές μελέτες (Redling, 2006) επιβεβαίωσαν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις REE στους κόκκους δημητριακών και καμία σημαντική συσσώρευση. Έτσι, τα σιτηρά και τα προϊόντα που κατασκευάζονται από αυτά, όπως

το αλεύρι σίτου, θεωρούνται ασφαλή. Οι Thomas et al., (2014) έχουν δηλώσει ότι χώρες όπως η Ρωσία και η Νιγηρία, όπου τα επίπεδα φυσικής αφθονίας σπανίων γαιών είναι υψηλά στα εδάφη τους, θα έχουν περισσότερους περιβαλλοντικούς κινδύνους που προκύπτουν από την αυξημένη εισροή τους στην γεωργία. Ενδέχεται να απαιτείται στενή παρακολούθηση σε χώρες όπου τα λιπάσματα με βάση φωσφορικά άλατα εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα.

3.3. Σπάνιες γαίες στην ιατρική

Οι μοναδικές τους ιδιότητες, όπως η εκπομπή ακτινοβολίας ή ο μαγνητισμός, επιτρέπουν στις σπάνιες γαίες να χρησιμοποιηθούν σε πολλές διαφορετικές θεραπευτικές και διαγνωστικές εφαρμογές στη σύγχρονη ιατρική. Επί του παρόντος υπάρχουν μερικές σημαντικές εφαρμογές των REE στην ιατρική, ενώ και πολλές άλλες αναμένονται στο κοντινό μέλλον. Αρκετές μελέτες (Zhang et al., 2000a , Zhang et al., 2000b , Wakabayashi et al., 2016) επιβεβαίωσαν τις αντιβακτηριακές και αντιμυκητιασικές δραστηριότητες στοιχείων των REE, οι οποίες είναι συγκρίσιμες με εκείνες των ιόντων χαλκού και αυτά τα στοιχεία αρχίζουν να βρίσκουν διάφορες φαρμακευτικές εφαρμογές . Για παράδειγμα, το Gd έχει χρησιμοποιηθεί σε χηλική μορφή, ως παράγοντα αντίθεσης για μετρήσεις μαγνητικού συντονισμού (MRI) (Raju et al., 2010), αν και νέα έρευνα βρίσκει άμεσες ενδείξεις εναπόθεσης Γαδολίνιου σε νευρωνικούς ιστούς, που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τους ασθενείς (Mc Donald et al., 2015 , Gulani et al., 2017). Οι σπάνιες γαίες μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν ως μυκητοκτόνο και να αναστείλουν το σχηματισμό και τη βλάστηση των μυκητιακών σπόρων με αποτέλεσμα να επηρεάσουν μεγάλο αριθμό οργανισμών (Zhang et al., 2000b). Ακόμη και τα φαρμακευτικά δείγματα όταν αναλύονται για ανόργανες ακαθαρσίες, βρέθηκαν να περιέχουν αξιόλογες ποσότητες σπανίων γαιών, ιδιαίτερα σε LREE (La: 25 µg/g, Ce: 7 µg/g, Gd: 8 µg/g) όταν αναλύονται από ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry, ένας τύπος φασματομετρίας μάζας που χρησιμοποιεί ένα επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα για ιονισμό του δείγματος) (Balaram, 2016b). Οι επιπτώσεις της παρουσίας αυτού του εύρους συγκεντρώσεων REE στα φαρμακευτικά προϊόντα, δεν είναι προς το παρόν σαφείς. Οι REE έχουν βρεθεί ότι προκαλούν ασθένειες και επαγγελματική δηλητηρίαση κατοίκων σε περιοχές εξόρυξης, ρύπανση

των υδάτων και καταστροφή γεωργικών εκτάσεων κ.λπ. Αντίθετα, ένα σύνολο αποδεικτικών στοιχείων έχει δείξει αντιοξειδωτικές επιδράσεις που σχετίζονται με REE στη θεραπεία πολλών ασθενειών (Rim, 2016). Πρόσφατα, οι ιατρικές και βιολογικές ιδιότητες των σπανίων γαιών έχουν αναθεωρηθεί από τον Panichev (2015). Νέες ιατρικές εφαρμογές για αυτά τα στοιχεία βρίσκονται με αυξανόμενο ρυθμό και αναδυόμενες εξελίξεις, όπως η νανοτεχνολογία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τη χρήση τους στην ιατρική στο μέλλον.

3.4. Γενικότερες εφαρμογές

Κεραμική, οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών, τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα ακόμη και χρωματισμοί γυαλιών. Οι σπάνιες γαίες είναι αναγκαίες πλέον στην καθημερινότητα της σύγχρονης κοινωνίας, έχοντας ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών εφαρμογών στη βιομηχανία. Μερικές από τις σπάνιες γαίες έχουν την ικανότητα να παραμένουν θερμοδυναμικά σταθερές σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες αλλά και να απορροφούν νετρόνια. Η δημιουργία υπέρ-μετάλλων και πολύ ανθεκτικών μετάλλων βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στις σπάνιες γαίες. Αυτό έχει βοηθήσει στην ανάπτυξη της αεροδιαστημικής λόγω των ανθεκτικών σε θερμότητα κραμάτων.

Το φάσμα αξιοποίησης των σπανίων γαιών εξαπλώνεται και στο χώρο της στρατιωτικής βιομηχανίας. Ηλεκτρονικά συστήματα πολεμικών αεροπλάνων, συστήματα παρακολούθησης ραντάρ, υψηλής αντοχής υλικά για την κατασκευή τανκ, πυρομαχικά υψηλής ακριβείας στόχου αλλά και αμυντικά συστήματα ξηράς, αέρος και θαλάσσης συμπληρώνουν την σημαντικότητα των σπανίων γαιών στο χώρο της στρατιωτικής βιομηχανίας.

3.5. Χρήσεις και εφαρμογές σπανίων γαιών ανά στοιχείο

Το Σκάνδιο σε συνδυασμό με το Αλουμίνιο δημιουργούν κράματα τα οποία χρησιμοποιούνται στο χώρο της αεροδυναμικής για εξαρτήματα. Μία ακόμη ιδιότητα του χημικού στοιχείου του Σκανδίου είναι ότι συμβάλει και ως δευτερογενές υλικό σε

λαμπτήρες αλογόνου μετάλλου και λαμπτήρες υδραργύρου. Τέλος το συναντάμε και ως υλικό για την ανίχνευση της ραδιενέργειας στα διυλιστήρια πετρελαίου.

Ένα από τα πιο πολύ διαδεδομένα χημικά στοιχεία είναι το Υττριο, το οποίο βρίσκει πολλές χρήσεις στο χώρο των μηχανών. Επίσης το Υττριο χρησιμοποιείται στην οδοντιατρική ως υλικό κατασκευής για το στέμμα των τεχνητών δοντιών. Η φήμη του όμως δεν σταματάει εκεί καθώς το συναντάμε και σε άλλες χρήσεις όπως:

- Σε επιστρώσεις κινητήρων
- Σε κεραμικούς ηλεκτρολύτες (χρησιμοποιείται σε κυψέλες καυσίμου στερεού)
- Σε ηλεκτρόκεραμικά (χρησιμοποιείται για την μέτρηση του οξυγόνου και του pH των διαλυμάτων)
- Σε κοσμήματα (αύξηση της σκληρότητας και ανάδειξη οπτικών του ιδιοτήτων τους)
- Σε φίλτρα μικροκυμάτων υτρίου (YIG)
- Σε ενεργειακούς αποδοτικούς λαμπτήρες
- Σε μανδύες αερίου
- Σε κράματα αλουμίνιου και μαγνησίου
- Στη θεραπεία του καρκίνου
- Σε διαθλαστικούς φακούς τηλεσκοπικής κάμερας (λόγο υψηλού δείκτη διάθλασης και πολύ χαμηλής θερμικής διαστολής)
- Σε φίλτρα καθετήρων αναρρόφησης

Ένα άλλο στοιχείο με μεγάλη ζήτηση είναι το Λανθάνιο. Η ιδιότητά του να προσφέρει υψηλό δείκτη διάθλασης το κάνει ξεχωριστό, ενώ προσδίδει και ανθεκτικό αλκαλικό περιβάλλον. Το Λανθάνιο χρησιμοποιείται επίσης στο μηχανισμό αποθήκευσης υδρογόνου στα ηλεκτρόδια των μπαταριών, στην κατασκευή διαθλαστικού φακού στα τηλεσκόπια, ενώ τέλος εισάγεται και στην βιομηχανία πετρελαίου καθώς βρίσκει εφαρμογές ως καταλύτης στη διεργασία καταλυτικής πυρόλυσης FCC (ρευστής κλίνης) στα διυλιστήρια.

Το Δημήτριο χρησιμοποιείται ευρέως ως ένας σημαντικός χημικός οξειδωτικός παράγοντας, ενώ άλλη μια πιο διαδεδομένη χρήση είναι ο χρωματισμός κεραμικών και γυαλιών σε αποχρώσεις του κίτρινου. Η βιομηχανία πετρελαίου εμπλέκει και το Δημήτριο όπως και το Λανθάνιο με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, ως καταλύτη στη

διεργασία καταλυτικής πυρόλυσης FCC στα διυλιστήρια. Επιπλέον εφαρμογές βρίσκει στην στύλβωση, στα νιάματα σιδήρου των αναπτήρων (κράμα σιδήρου-δημήτριου), ως καταλύτης για τον καθαρισμό μαγειρικών φούρνων και τέλος στην δημιουργία υδρόφοβων στρώσεων στις επικαλύψεις των λεπίδων των στροβίλων (τουρμπίνων).

Ένα από τα κύρια μέταλλα που συναντάμε στους μαγνήτες σπανίων γαιών είναι το Πρασινοδύμιο. Σημαντική είναι η χρήση του μετάλλου αυτού και στην δημιουργία των ακτίνων λέιζερ. Άλλες σημαντικές χρήσεις του Πρασινοδυμίου είναι, η χρωστική ουσία που χρησιμοποιείται σε γυαλιά και στο σμάλτο των δοντιών, η κατασκευή ενισχυτών οπτικής ίνας μονής λειτουργίας (λειτουργεί ως επικολλητής σε γυαλί φθορίου). Αποτελεί επίσης πρόσθετο σε γυαλί διδυμίου, που χρησιμοποιείται σε γυαλιά συγκόλλησης, ενώ επίσης αποτελεί και υλικό πυρήνα για το φωτισμό τόξου άνθρακα.

Το Νεοδύμιο όπως και προηγουμένως το Πρασινοδύμιο αποτελεί κύριο μέταλλο για την κατασκευή μαγνητών σπανίων γαιών, αλλά επίσης και για την κατασκευή λέιζερ. Μια από τις κυρίες εφαρμογές στις οποίες συμμετέχει το Νεοδύμιο είναι στην κατασκευή ηλεκτρικών κινητήρων για τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα. Επιπλέον χρήσεις του μετάλλου είναι ο χρωματισμός σε γυαλιά στις αποχρώσεις του μωβ, στο σχηματισμό του διδυμίου και τέλος συμβάλει στην κατασκευή κεραμικών πυκνωτών.

Όλες οι Λανθανίδες έχουν κάποιες ξεχωριστές χρήσεις, έτσι και ένα από τα πιο επικίνδυνα χημικά στοιχεία αυτών, το Προμήθειο. Έχει πολύ σημαντικό ρόλο στην κατασκευή των πυρηνικών μπαταριών (ή ατομικών μπαταριών), όπου γίνεται η χρήση ισοτόπων του Προμηθείου για την παραγωγή ενέργειας. Τέλος το Προμήθειο χρησιμοποιείται για να προσδώσει μια πιο έντονη φωτεινή όψη στις βαφές.

Η κατασκευή των μαγνητών από σπάνιες γαίες γίνεται και με την προσθήκη ενός άλλου χημικού στοιχείου των Λανθανίδων, του Σαμάριου. Το Σαμάριο χρησιμοποιείται και στην κατασκευή λέιζερ, για τη σύλληψη νετρονίων. Επιπλέον έχει σημαντικό ρόλο στην κατασκευή μείζερ (maser). Το μείζερ δημιουργεί ισχυρή ακτινοβολία στην περιοχή των μικροκυμάτων σε σύγκριση με το γνωστό κοινό λέιζερ που είναι πηγή ορατού φωτός. Επίσης το Σαμάριο χρησιμοποιείται ως συστατικό για τη κατασκευή ράβδων ελέγχου πυρηνικών αντιδραστηρίων.

Η κυριότερη και σημαντικότερη χρήση του Ευρώπιου στη βιομηχανία, είναι στην χαλάρωση του NMR (NuclearMagneticResonance),δηλαδή του πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού, το φυσικό φαινόμενο στο οποίο οι πυρήνες σε ένα μαγνητικό πεδίο, αρχικά απορροφούν και στην συνεχεια επανεκπέμπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο NMR χρησιμοποιείται ευρέως στο χώρο της ιατρικής και πιο συγκεκριμένα στην μαγνητική τομογραφία. Επίσης το Ευρώπιο βρίσκει πιο κοινή χρήση ως κόκκινο και μπλε χρώμα σε φωσφορίζοντες λαμπτήρες, ως συνθετικό υλικό λαμπτήρων υδραργύρου και τέλος σε λαμπτήρες φθορισμού.

Το μέταλλο του Γαδολινίου προσδίδει την ιδιότητα της υψηλής διαθλαστικότητας σε γυαλιά ή γρανάτες, αποτελεί υλικό κατασκευής λέιζερ, καθώς και υλικό κατασκευής σωλήνων ακτίνων Χ. Επίσης από το Γαδολίνιο κατασκευάζονται οι μνήμες φυσαλίδων (Bubblememory - ένας τύπος μη πτητικής μνήμης υπολογιστή, όπου γίνεται χρήση ενός λεπτού μαγνητικού φιλμ, με σκοπό τη συγκράτηση μικρών μαγνητισμένων περιοχών).Το Γαδολίνιο βρίσκει εφαρμογή επίσης :

- Στην σύλληψη νετρονίων
- Ως στοιχείο αποφόρτισης NMR (Nuclear magnetic resonance - Πυρηνικός μαγνητικός συντονισμός)
- Ως στοιχείο δημιουργίας αντίθεσης για τη βελτιστοποίηση εικόνων στη μαγνητική τομογραφία (MRI) και στη μαγνητική αγγειογραφία (MRA)
- Στην κατασκευή μαγνητο - συστατικών κραμάτων (κράματα με μαγνητικές ιδιότητες) και ως πρόσθετο κραμάτων Galfenal (κράμα σίδηρου-γαλλίου)
- Για μαγνητική ψύξη
- Ως ανιχνευτής σε σπινθηριστή τομογραφίας εκπομπών ποζιτρονίων
- Ως υπόστρωμα για οπτικο-μαγνητικές μεμβράνες
- Για την κατασκευή κεραμικών ηλεκτρολυτών που εφαρμόζονται σε κυψέλες στερεού καύσιμου
- Ως καταλύτης για τη μετατροπή καπνών αυτοκινήτου
- Ως υπεραγωγός υψηλής απόδοσης της θερμοκρασίας

Ένα άλλο μέταλλο των Λανθανίδων το οποίο και εκείνο χρησιμοποιείται ευρέως ως πρόσθετο σε μαγνήτες (μαγνήτες κυρίως με βάση το Νεοδύμιο), είναι το Τέρβιο. Το Τέρβιο χρησιμοποιείται για το χρωματισμό σε πράσινους φωσφόρους, σε λαμπτήρες φθορισμού (όπου χρησιμοποιείται ως κομμάτι της επικάλυψης φώσφορου λευκού

τριβάνδου). Γίνεται επίσης χρήση σε ναυτικά συστήματα Σόναρ, σε σταθεροποιητές κυβελών καυσίμου και τέλος αποτελεί μαγνητο-συστατικό σε κράματα.

Οι κυριότερες χρήσεις στις οποίες λαμβάνει χώρα το Δυσπρόσιο είναι ως πρόσθετο στην κατασκευή λέιζερ. Επίσης το συναντάμε και σε μαγνητο-συστατικά κράματα κυρίως με βάση το Νεοδύμιο, όπως το Terfenal-D. Εκεί που το Δυσπρόσιο είναι πιο διαδεδομένο, είναι ο χώρος της πληροφορικής, καθώς χάρη σε αυτό κατασκευάζονται όλο και καλύτεροι και πιο χρηστικοί σκληροί δίσκοι.

Όπως τα περισσότερα μέταλλα των Λανθανίδων έτσι και το Όλμιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή μαγνητών αλλά και λέιζερ. Ωστόσο η πιο διαδεδομένη χρήση του Ολμίου είναι στα χημικά εργαστήρια, όπου και λειτουργεί ως πρότυπο βαθμονόμησης μήκους κύματος στα οπτικά φασματομέτρα.

Το γεγονός ότι το μέταλλο του Ερβίου δεν το συναντάμε πότε μόνο του στον φλοιό της γης, έχει περιορίσει τις έως σήμερα χρήσεις του. Παρόλα αυτά το Έρβιο χρησιμοποιείται ως υλικό στην κατασκευή υπέρυθρων λέιζερ, σε κράματα για χάλυβα βαναδίου και τέλος είναι ευρέως διαδεδομένο στην τεχνολογία των οπτικών ινών.

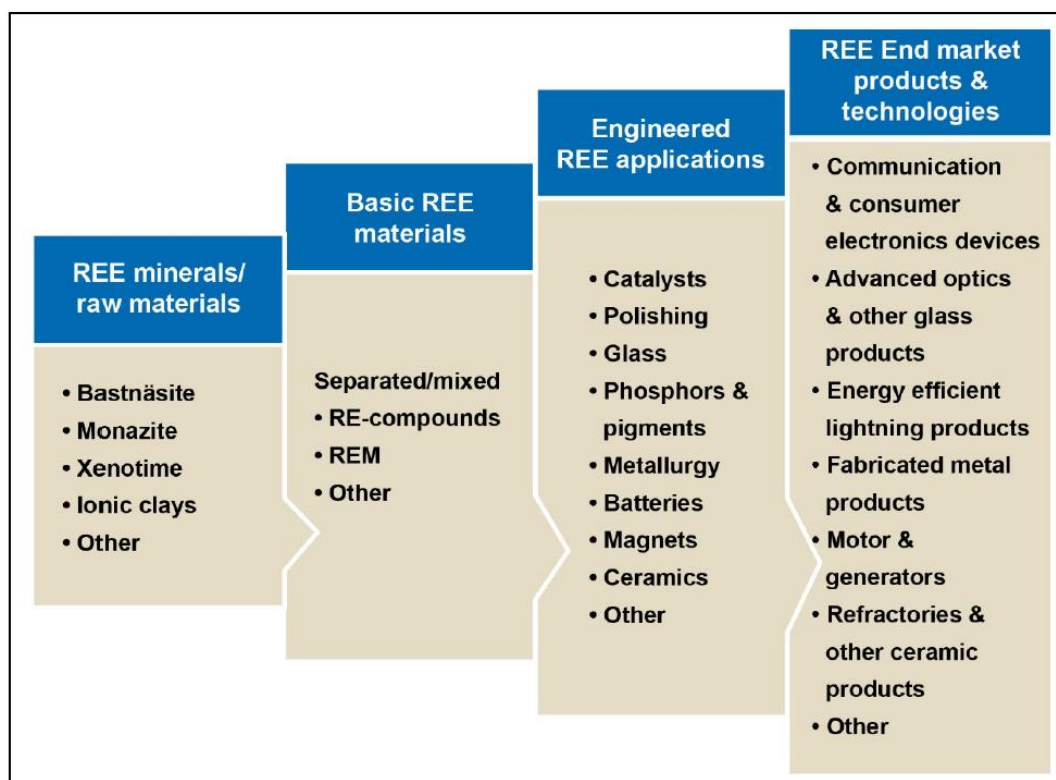
Το πιο επικίνδυνο και πιο ακριβό μέταλλο από τις σπάνιες γαίες είναι το Θούλιο. Η ιδιαιτερότητα του Θούλιου δίνει την δυνατότητα στην πηγή ακτινοβολίας και κατασκευή φορητών μηχανών για τις ακτίνες X, καθώς και την κατασκευή λέιζερ στερεάς κατάστασης. Παρόλα αυτά η χρήση του Θούλιου δεν περιορίζεται μόνο στις ακτίνες λέιζερ, άλλα χρησιμοποιείται σε λαμπτήρες μετάλλου-αλογόνου, σε εξοπλισμό μικροκυμάτων και σε προσωπικά δοσίμετρα ανίχνευσης της ραδιενεργού ακτινοβολίας.

Το Υττέρβιο είναι ένα χημικό στοιχείο το οποίο βρίσκει εφαρμογές σε πιο ασυνήθιστες δραστηριότητες της τεχνολογίας. Η χρήση του Υττερβίου στην πυρηνική ιατρική βοήθησε σημαντικά στην εξέλιξη του κλάδου. Επιπλέον χρήσεις του είναι στους μετρητές πίεσης, στην κατασκευή φωτοβολίδων, στην κατασκευή υπέρυθρων λέιζερ και ως πρόσθετο στο ανοξειδωτο ατσάλι. Τέλος το Υττέρβιο χρησιμοποιείται και στην παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας.

Το Λουτήτιο αλλιώς Λουτσέσιο είναι το τελευταίο χημικό στοιχείο των Λανθανίδων. Το Λουτσέσιο χρησιμοποιείται στη τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων, καθώς και στο χώρο της βιομηχανίας πετρελαίου ως καταλύτης στα διυλιστήρια.

Επίσης εκτεταμένη χρήση έχει το μέταλλο σε λαμπτήρες τύπου LED. Τέλος χρησιμοποιείται και για την κατασκευή ανιχνευτών σάρωσης PET (το PET χρησιμοποιείται ως όργανο της ιατρικής για την ανίχνευση κακοήθειας, διαταραχών του εγκεφάλου, πνευμονολογικών καθώς και μυοκαρδιακών προβλημάτων).

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η παραγωγική αλυσίδα των REE από την ορυκτή πρώτη ύλη έως το τελικό προϊόν.



Σχήμα 3.1. Απλοποιημένη αλυσίδα ζωής REE. Από ορυκτές πρώτες ύλες έως τα τελικά προϊόντα και τεχνολογίες, πηγή: προσαρμόστηκε από το RareEarthTechnologyAlliance, 2014

3.6. Ανακύκλωση σπανίων γαιών

Τα στρατηγικά μέταλλα υψηλής τεχνολογίας όπως το Κοβάλτιο, το Λίθιο, το PGE, το Άφνιο, το Ταντάλιο, το Γάλλιο και ειδικά οι σπάνιες γαίες είναι θεμελιώδη για τον κόσμο σήμερα για την ανάπτυξη αποτελεσματικών υψηλής τεχνολογίας και φιλικών προς το περιβάλλον προϊόντων. Για παράδειγμα όπως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που απαιτούν Λίθιο και Νεοδύμιο ανεμογεννήτριες που απαιτούν Νεοδύμιο και Δυσπόσιο. Από τη μία πλευρά, ο κόσμος κινείται προς ένα καθαρότερο και πιο πράσινο μέλλον (μέσω των ανανεώσιμων και πιο πράσινων πηγών ενεργείας), από

την άλλη καθίσταται εξαιρετικά δύσκολο να καλυφθεί η αυξανόμενη ζήτηση των REE, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής βρίσκεται μόνο σε λίγες χώρες όπως η Κίνα, οι ΗΠΑ, η Αυστραλία και η Ινδία. Πολλά είναι τα ερευνητικά έργα που συνεχίζουν να αντικαθιστούν άλλα υλικά με σπάνιες γαίες σε κρίσιμες τεχνολογίες όπως οι υπερμαγνήτες. Τα τεχνολογικά άλματα όμως οδηγούν γρήγορα σε τεράστιους σωρούς ηλεκτρονικών αποβλήτων, η απόρριψη των οποίων ενέχει κινδύνους για το περιβάλλον. Τα απόβλητα αυτά περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις σπανίων γαιών και άλλων πολύτιμων μετάλλων όπως Au, Pt, Pd και Rh. Αποτελούν επομένως έναν πολύτιμο πόρο, η αξιοποίηση του οποίου μπορεί να καλύψει τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες και ίσως να μειώσει την πρωτογενή παραγωγή ορυκτών πρώτων υλών. Ειδικά στην περίπτωση των σπανίων γαιών τα ηλεκτρονικά απόβλητα θα μπορούσαν θεωρητικά να καλύψουν ένα σημαντικό μέρος της ζήτησης. Πρόσφατες μελέτες για το κύκλο ζωής των προϊόντων έδειξαν ότι η ανακύκλωση καταναλωτικών υλικών είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στις συμβατικές διαδικασίες παραγωγής (Sprecher et al., 2014). Εκτιμάται ότι σήμερα περίπου 50 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι ηλεκτρονικών αποβλήτων διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής σε όλο τον κόσμο κάθε χρόνο. Ωστόσο, περίπου το 12,5% των ηλεκτρονικών αποβλήτων ανακυκλώνεται επί του παρόντος για όλα τα μέταλλα. Η ανακύκλωση βέβαια των REE παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες. Πρώτα απ' όλα, αυτά τα στοιχεία υπάρχουν σε μικρές ποσότητες σε μικροσκοπικά ηλεκτρονικά μέρη συσκευών όπως τα κινητά τηλέφωνα. Σε ορισμένα υλικά όπως οι οθόνες αφής, αυτά τα μέταλλα κατανέμονται ομοιόμορφα καθιστώντας πολύ πιο δύσκολη τη διαδικασία ανάκτησής τους. Ανεξάρτητα από την τελική χρήση, οι REE δεν ανακυκλώνονται σε μεγάλες ποσότητες κυρίως λόγω της χαμηλής απόδοσης και του αυξημένου κόστους, αλλά η ανακύκλωση θα μπορούσε να είναι εφικτή εάν γίνει κατ' εντολή καθώς οι τιμές των REE θα γίνουν εξαιρετικά υψηλές στο μέλλον. Προκειμένου να μειωθεί η μελλοντική κρίση των σπανίων γαιών, διεξάγονται πολλές μελέτες παγκοσμίως για την οικονομική ανάκτησή τους από τα ηλεκτρονικά απόβλητα (Bogart et al., 2015, Bogarta et al., 2016, Fang et al., 2017, Nguyen et al., 2017). Αυτές οι μελέτες περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένες προσεγγίσεις για την αποσυναρμολόγηση ηλεκτρονικών αποβλήτων, καθώς και χημεία για την εξαγωγή REE από αυτές. Πρόσφατα, η Apple παρουσίασε ένα ρομπότ για αποσυναρμολόγηση iPhone, το οποίο μπορεί να αποσυναρμολογήσει έως και 200 συσκευές/ώρα. Η επεξεργασία 100.000 iPhone έχει τη δυνατότητα να παράγει 1900 kg Αλουμινίου, 770

kg Κοβαλτίου, 710 kg Χαλκού, 93 kg Βολφραμίου , 42 kg Κασσίτερου, 11 kg σπανίων γαιών, 7,5 kg Αργύρου, 1,8 kg Ταντάλιο, 0,97 kg Χρυσού και 0,1 kg Παλλαδίου. Η εταιρεία επανέλαβε τη δέσμευσή της, ότι από το 2017 θα χρησιμοποιεί μόνο ανακυκλωμένα υλικά στην αλυσίδα εφοδιασμού της, γεγονός που δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη σε μεγάλο βαθμό.^[1]

Οι χημικές διεργασίες διαχωρισμού των REE είναι μια μεγάλη πρόκληση και ένα σημαντικό εμπόδιο για πιθανή εκτεταμένη δραστηριότητα ανακύκλωσης, η οποία επί του παρόντος εκτελείται με ρυθμό περίπου 1%. Ο διαχωρισμός και ο καθαρισμός των μεμονωμένων REE είναι δύσκολος λόγω των χημικών τους ομοιοτήτων. Υπάρχει σαφής ανάγκη για νέες τεχνολογίες διαχωρισμού που μειώνουν το κόστος των διαχωρισμών και της ανακύκλωσης REE βιομηχανικής κλίμακας. Αυτό αποσκοπεί στην συλλογή επιπλέον ανακυκλωμένων πηγών REE και παράλληλα στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την απομόνωσή τους,

4. Σπάνιες γαίες και παγκόσμια οικονομία

4.1.Οικονομία και παγκόσμια παραγωγή

Το 2015, η παγκόσμια αξία των σπανίων γαιών εκτιμήθηκε ότι κυμαινόταν μεταξύ 2-4 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το συνολικό μέγεθος της αγοράς, σε όγκο και αξία, είναι μικρό μπροστά στην παγκόσμια παραγωγή των σπανίων γαιών σε ένα κατά προσέγγιση εύρος 115.000 - 120.000 tpa. Συγκριτικά το 2012 το μέγεθος της αγοράς σιδηρομεταλλεύματος ήταν περίπου 3.000 Mt, και της αγοράς Τανταλίου (Ta) και Νιόβιου (Nb) ήταν περίπου 250.000 t. Η αγορά των σπανίων γαιών είναι μια εξειδικευμένη αγορά, που χαρακτηρίζεται από εξειδικευμένες επιχειρήσεις και όχι από απλό εμπόριο στις αγορές μετάλλων.

[1]:<https://resource-recycling.com/e-scrap/2018/04/26/apple-rolls-out-robot-for-iphone-dismantling/>.

Επιπλέον, η αλυσίδα εφοδιασμού σπανίων γαιών απαιτεί ειδικές γνώσεις που εκτείνονται από την ορυκτολογία των σπανίων γαιών έως τη χημική επεξεργασία. Το χαρακτηριστικό αυτό, από κοινού με το μέγεθος της αγοράς χρησιμοποιείται συχνά για να εξηγήσει το περιορισμένο ενδιαφέρον μεγάλων, εγκατεστημένων εταιρειών εξόρυξης (όπως η BHP Billiton, η RioTinto ή Vale) να συμμετάσχουν σε τέτοιου είδους εξορυκτικά έργα. Η παραγωγή ορυκτών προϊόντων και υποπροϊόντων επηρεάζει την προσφορά τους, δηλαδή όταν προσαρμόζεται η παραγωγή του κύριου προϊόντος επηρεάζεται η παραγωγή ορυκτών σπανίων γαιών. Για παράδειγμα, οι σπάνιες γαίες εξορύσσονται (από σκληρά πετρώματα) στο ορυχείο Bayan Obo στην Κίνα ως υποπροϊόν του σιδηρομεταλλεύματος, το οποίο αποτελεί το κύριο προϊόν εξόρυξης. Με μια αλλαγή στην πολιτική υποστήριξης της εξόρυξης, και τις τιμές του σιδηρομεταλλεύματος που επηρεάζουν τα μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα σχέδια για την παραγωγή σιδηρομεταλλεύματος, επηρεάζεται επίσης και η παραγωγή ορυκτών σπανίων γαιών.

Η ακριβής αποτύπωση του μεγέθους και της δυναμικής της αγοράς περιορίζεται από:

- Τη δυσκολία λήψης εκτιμήσεων του παράνομου μεριδίου παραγωγής, δηλαδή την έκταση των δραστηριοτήτων των παρανομών ορυχείων ή αλλιώς *γκρίζων ανθρακωρύχων* (παράνομοι ανθρακωρύχοι).
- Την περιορισμένη γνώση της συνολικής παραγωγής προϊόντων σπανίων γαιών στην Κίνα (από την εξόρυξη έως τα συστατικά μέρη), δεδομένου ότι τα επίσημα αριθμητικά στοιχεία δεν είναι απαραίτητα αντιπροσωπευτικά της συνολικής παραγωγής
- Τον συνολικό όγκο των αποθεμάτων σπανίων γαιών
- Τη δυσκολία αποκρυπτογράφησης των τύπων προϊόντων που κυκλοφορούν (π.χ. μεικτά ανθρακικά άλατα σπανίων ή RareEarthMetal), η οποία περιπλέκεται περαιτέρω από στατιστικούς κωδικούς που συγκεντρώνουν ομάδες προϊόντων κατά τη λογιστική των εισαγωγών και των εξαγωγών.

4.1.1. Αποθέματα

Παρά το όνομά τους, οι σπάνιες γαίες δεν είναι πράγματι πολύ σπάνιες, ειδικά οι LREE, που εξάγονται με έναν πιο συνηθισμένο και ευκολότερο τρόπο σε σύγκριση με τις HREE. Στην πραγματικότητα, ο όρος σπάνιες γαίες προτάθηκε παραπλανητικά, αφού ο χημικός Carl Axel Arrhenius (1757-1824), ως φοιτητής του Σουηδικού χημικού τμήματος του Berzelius, τα είχε ανακαλύψει το 1787 στις χωματερές των λατομείων Ytterby (Σουηδία). Ο Johann Gadolin το 1794 τις έλεγε σπάνιες, γιατί, όταν ανακαλύφθηκαν οι πρώτες γαίες, πίστευε ότι ήταν παρούσες μόνο σε μικρές ποσότητες στον φλοιό της Γης, και γαίες επειδή, ως οξείδια, οι RE έχουν γήινη εμφάνιση (Long et al., 2010).

Το Δημήτριο για παράδειγμα αποτελεί το $6,6 \times 10^{-3}$ % κατά βάρος στον φλοιό της Γης, στοιχείο 25^ο στη σειρά σε ό,τι αφορά την αφθονία. Το Δημήτριο έχει παρόμοια αφθονία με τον Χαλκό (Cu) και είναι περίπου τέσσερις φορές πιο άφθονο από τον Μόλυβδο (Pb). Ακόμη και τα δύο λιγότερο σε αφθονία στοιχεία των REE (Tm, Lu) είναι σχεδόν 200 φορές πιο κοινά (50,5 ppm) από το χρυσό (Au)^[2]. Το πραγματικό πρόβλημα, λοιπόν, δεν είναι η απόλυτη συγκέντρωσή τους (10–500 ppm κατά βάρος) αλλά το ότι είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν οικονομικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα. Τα μόνα στοιχεία, που είναι πραγματικά λιγιστά (αφθονία στο φλοιό της γης ≤ 1 ppm) και ακόμη και δύσκολο να βρεθούν, είναι το Ευρώπιο, το Θούλιο και το Λουτέτσιο (Taylor and McLennan, 1985).

Εμπορεύονται παγκοσμίως κυρίως με βάση την περιεκτικότητά τους σε οξείδια, εκφραζόμενα σε όρους οξειδίων RE (REO) ή ως ολικών οξειδίων RE (TREOs). Για ορισμένες εφαρμογές, το ζητούμενο ποσοστό καθαρότητας ενός μόνο στοιχείου σε αυτά τα οξείδια μπορεί να φτάσει το 99,99% ή ακόμα και το 99,999% (για προϊόντα σε μια συγκεκριμένη κρυσταλλογραφική δομή) (King, 2011).

Οι κύριες εμπορικές πηγές REOs είναι ο μοναζίτης, ο μαστνασίτης, το ξενότιμο και το loparite (ένα ορυκτό του υπεροβοσκίτη και με Ρωσική ονομασία). Το τελευταίο, καθώς περιέχει σημαντικό ραδιενεργό Θόριο, δεν είναι πλέον μια ελκυστική πηγή σπανίων γαιών. Οι περισσότερες από αυτές τις σπάνιες γαίες περιέχονται σε λίγα μόνο ορυκτά (bastnaesite, monazite και xenotime) και την παραγωγή REO από αυτά χρησιμοποιούνται μέθοδοι επίπλευσης. Άλλα REOs (50%) παράγονται από βαριές ορυκτές άμμους με μεθόδους φυσικής συγκέντρωσης ή χρησιμοποιώντας κατιονικό συλλέκτη, όπως λιπαρά οξέα ή αλκαλικούς, θεικούς και φωσφορικούς εστέρες (Bulatovic, 2010).

Συνήθως, στα περισσότερα από αυτά τα ορυκτά, η ποσοστιαία σύνθεση των μεμονωμένων στοιχείων RE ακολουθεί τον νόμο Oddo – Harkins, δηλαδή, μια περίεργη ομοιόμορφη σχέση σύμφωνα με την οποία τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα συν έναν ακόμη και ατομικό αριθμό είναι συνήθως πιο άφθονα από τους περιγύρους γείτονές τους (Kilbourn, 1993). Για αυτόν τον λόγο, οι συγκεντρώσεις των βαρύτερων REEs είναι μικρότερες από αυτές των ελαφρύτερων REE (Uchida et al., 2006).

Φαίνεται ότι υπάρχουν αποθέματα σπανίων γαιών σε 34 χώρες (Chen, 2011):

- 6 χώρες στην Ευρώπη (μεταξύ άλλων, Ρωσία Εσθονία και Γροιλανδία),
- 14 στην Ασία
- 10 στην Αφρική
- ΗΠΑ
- Καναδάς,
- Βραζιλία
- Αυστραλία

Σύμφωνα με το Αμερικανικό Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών (UGS, 2011) , το 2010 τα παγκόσμια αποθέματα REOs ήταν περίπου 110 εκατομμύρια τόνοι. Η Κίνα κατατάσσεται στην πρώτη θέση, με περισσότερο από 60% (55 εκατομμύρια τόνοι). Η CIS (Κοινοπολιτεία των κρατών της Ανεξαρτησίας - πρώην Σοβιετική Ένωση) είναι η δεύτερη, με περίπου 17% (19 εκατομμύρια τόνοι). Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι στην Τρίτη θέση, με ποσοστό περίπου 12% (13 εκατομμύρια τόνοι). Στη συνέχεια ακολουθεί η Ινδία (3,1 εκατομμύρια τόνους), η Αυστραλία (1,6 εκατομμύρια τόνους), η Βραζιλία (0,48 εκατομμύρια τόνους), η Μαλαισία (0,3 εκατομμύρια τόνους) και άλλες χώρες (22 εκατομμύρια τόνους, 20% του συνόλου).

Μέχρι τη δεκαετία του 1980, το ορυχείο του Mountain Pass (Νότια Καλιφόρνια, ΗΠΑ) ήταν το μεγαλύτερο σε παραγωγή ορυχείο σπανίων γαιών στον κόσμο. Άνοιξε από τη Molycorp στις αρχές της δεκαετίας του 1950, η οποία επένδυσε εκατομμύρια δολάρια στην έρευνα πιθανών χρήσεων για REEs. Ήταν παραγωγικό μέχρι το 2002, όταν τα προβλήματα της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και της εισαγωγής ορυκτών χαμηλού κόστους από την Κίνα μείωσαν σημαντικά την παραγωγή, περιορίστηκε σε μερικά οξείδια που έπρεπε να υποστούν επεξεργασία στην Ασία για να μετατραπούν σε REM (Fifarek et al., 2008). Άλλες ενδιαφέρουσες τοποθεσίες στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι οι LemhiPass και DiamondCreek (Idaho) και το όρος Bokan (Αλάσκα) (Long et al., 2010).

Μια ομάδα ερευνητών του Ιαπωνικού Οργανισμού που δραστηριοποιείται στις Θαλάσσιες εκτάσεις γης με σκοπό την ανάπτυξη επιστήμης και τεχνολογίας (JAMSTEC) έχει εντοπίσει τεράστιες αποθέσεις REE σε μια ιζηματογενή απόθεση στο βυθό του Ειρηνικού Ωκεανού. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, αυτά τα αποθέματα είναι περίπου 100 δισεκατομμύρια τόνοι: χιλιάδες φορές περισσότερα από τα χερσαία. Το πρόβλημα είναι ότι αυτοί οι πόροι είναι πολύ βαθιά (από 3.500 έως 6.000 m), με αποτέλεσμα η εξόρυξή τους συναντά σήμερα σοβαρές τεχνικές και κυρίως οικονομικές δυσκολίες (Kato et al., 2011).

4.1.2. Παραγωγή

Η ιστορία της μαζικής παραγωγής και εξόρυξης των σπανίων γαιών ξεκινάει τη δεκαετία του '50. Μέχρι το 1948 χώρες όπως η Ινδία, η Βραζιλία και η Νότιος Αφρική κατέχουν τα ηνία στην παραγωγή των σπανίων γαιών. Στη συνέχεια στη δεκαετία του '60 άρχισε και η παραγωγή στην περιοχή της Καλιφόρνια στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80 η Κίνα ανέβηκε και αυτή όσον αφορά στην παραγωγή και την επεξεργασία πολλών προϊόντων με πρώτη ύλη τις σπάνιες γαίες, ώσπου πάτησε στην κορυφή. Έως το 2000 η Κίνα αύξησε την παραγωγή της μαζικά σε αντίθεση με τις υπόλοιπες χώρες που μείωσαν την παραγωγή τους.

Ο μεγαλύτερος παραγωγός το 2010 ήταν η Κίνα, με 130.000 tREOs, όταν η συνολική παγκόσμια ήταν 134.000 t. Σήμερα, τα μεγαλύτερα αποθέματα (κυρίως μαστνασίτη) βρίσκονται στις περιοχές της εσωτερικής Μογγολίας (ορυχείο Bayan Obo), Shangdong, Jiangxi, Guangdong, Hunan, Guangxi, Fujian, Sichuan (Hurst, 2010).

Country	Mine production (2014) (ton) USGS (2016)	Mine production (2014) (ton) Brown <i>et al.</i> (2016)	Mine production (2014) (ton) Adamas Intelligence (2016)
US	5,400	4,200	
Australia	8,000	3965	7,191
Brazil	-		94
China (legal)	105,000	95,000	104,000
China (illegal)			24,500
India	NA		-
Malaysia	240	221	167
Myanmar			2,472
Russia	2,500	2,134	2,093
Thailand	2,100		-
Other	NA		5,908
Total	123,240	105,519	146,425

Εικόνα 4.1. Διακύμανση στα στατιστικά στοιχεία παγκοσμίας παραγωγής σπανίων γαιών το 2014, πηγή: USGS, 2016; Brown *et al.*, 2016; Adamas Intelligence, 2016.

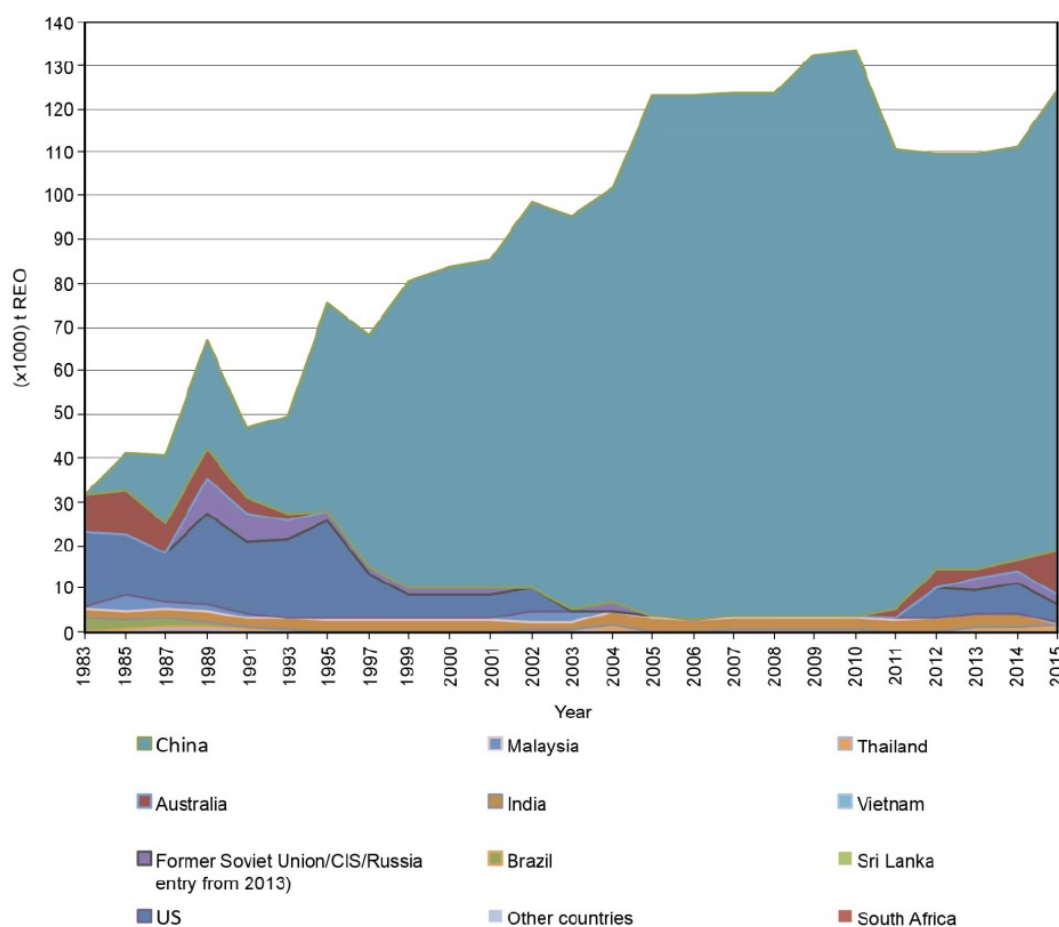
Η δυνατότητα αυτή που κατέχει η Κίνα, να εξορύσσει σπάνιες γαίες, καθώς και να παράγει προϊόντα σπανίων γαιών φθηνότερα και σε καλύτερη ποιότητα, την εκτόξευσε σε σχέση με τους ανταγωνιστές της. Η διαφορά αυτής της δυναμικότητας οφείλεται στο αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων. Οι κυριότεροι λόγοι της διαφοράς της Κίνας με τον υπόλοιπο κόσμο είναι το χαμηλό εργατικό κόστος και η μη τήρηση των περιβαλλοντικών πρωτοκόλλων. Υπολογίζεται ότι οι δύο αυτοί παράγοντες έδωσαν στην Κίνα την δυνατότητα του υποτριπλασιασμού του κόστους παραγωγής σπανίων γαιών σε σχέση με τους ανταγωνιστές της (EURARE).



Διάγραμμα 4.1. Εκτιμώμενη παραγωγή του 2015 σε ανατολική, δυτική και κεντρική περιφέρεια της Κίνας, πηγή: βασίζεται σε δεδομένα από την Liu (2016) και την επίσημη ποσόστωση παραγωγής (Rao, 2016).

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η ποσόστωση της παραγωγής σπανίων γαιών.(η ποσόστωση είναι το όριο που βάζει το κράτος στην ποσότητα των προϊόντων που επιτρέπονται να εισαχθούν στην χώρα), στην Κεντρική, στην Ανατολική, στην Δυτική περιφέρεια της Κίνας.

Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώνεται η διαφορά δυναμικής της Κίνας σε σχέση με τον υπόλοιπο κόσμο στην παραγωγή σπανίων γαιών από τα ορυχεία της, από το 1983 έως το 2006. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, έως το 1991 η Κίνα κρατούσε την πρωτιά στην παραγωγή, όμως η διαφορά σε σύγκριση με τις άλλες χώρες δεν ήταν αρκετά μεγάλη. Στο διάστημα των επόμενων ετών, ενώ οι περισσότερες χώρες μείωσαν την παραγωγή τους σε σπάνιες γαίες, η Κίνα την αύξησε σημαντικά. Το αποτέλεσμα ήταν η γιγάντωση του χάσματος μεταξύ της Κίνας με τον υπόλοιπο κόσμο που ασχολείται με την παραγωγή των REE.



Διάγραμμα 4.2. Δυναμική στην παραγωγή REE των ορυχείων από το 1983 έως το 2001, πηγή: MiMa-GEUS, 2016, προσαρμοσμένο από τους Castor and Hedrick, 2006, σελ. 771; USGS, 2016. Σημείωση:

Οι ροές δεδομένων έχουν συσσωρευτεί για να επιτρέψουν τη καλύτερη σύγκριση και οπτικοποίηση των μικρότερων συνεισφορών προσφοράς ορισμένων χωρών από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 έως τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και από το 2011 και μετά.

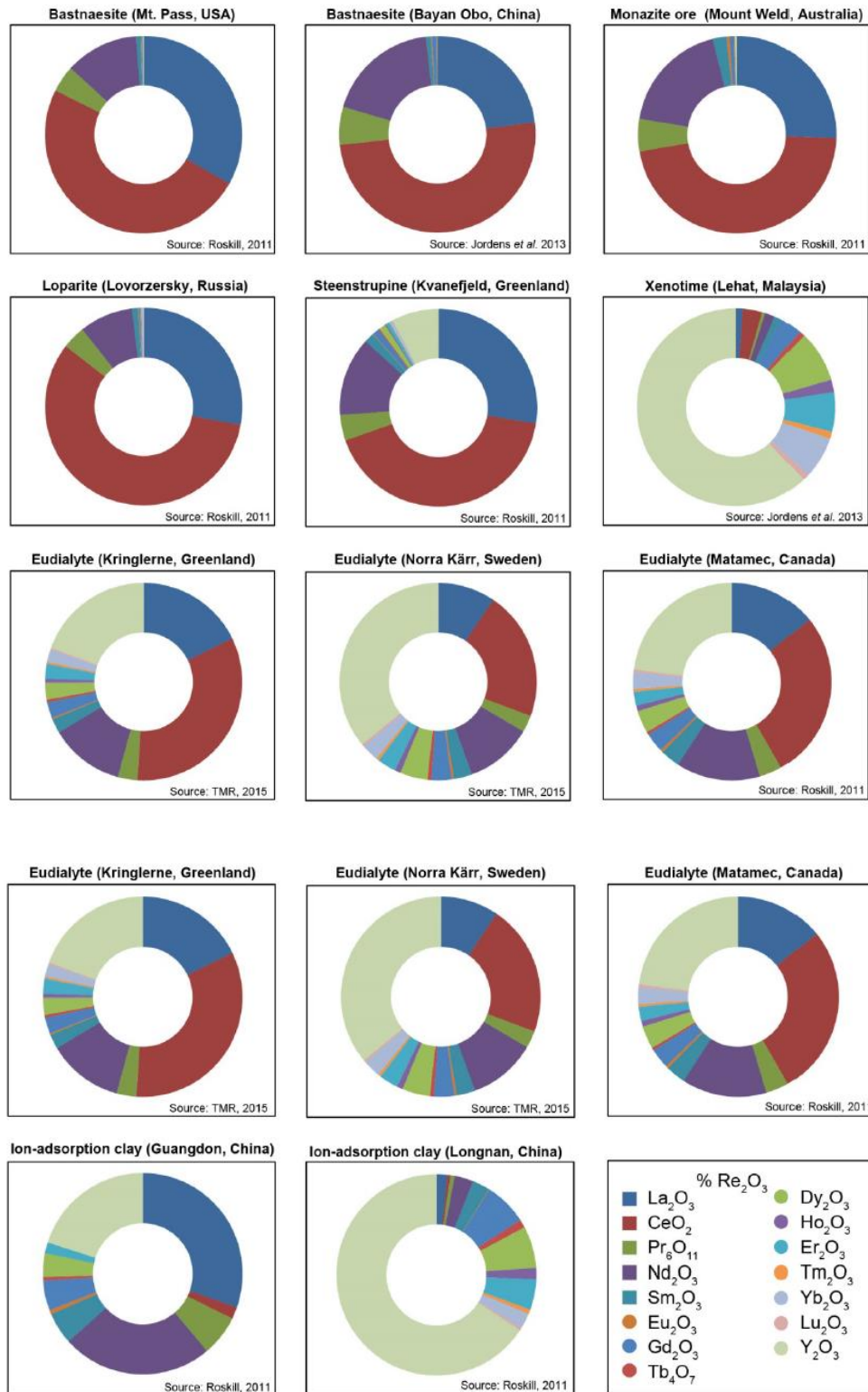
Η σημαντική διαφορά που κατέχει η Κίνα σε σύγκριση με τον υπόλοιπο κόσμο, αποτυπώνεται και στον μεγάλο αριθμό ορυχείων που εξάγουν σπάνιες γαίες. Η Κίνα έκτος από μεγάλα σε έκταση μεταλλεία διαθέτει και παρά πολλά μικρά και παράνομα ορυχεία. Στο παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά διάφορα μεταλλεία ανά τον

κόσμο, ενώ η διαφορά της με τα άλλα κράτη ξεχωρίζει καθώς σχεδόν το 50% των μεγαλύτερων μεταλλείων σπανίων γαιών ανήκουν στην Κίνα.

Country	Company	Mine/ Region	Geol. type	Capacity (TREO tpa)	LREE/HREE enrichment	Product
Austr.	Lynas Corp	Mount Weld	Carb./laterite	22,000	LREE	Mixed and separated REO
Brazil	Nuclear Industries of Brazil	Buena Norté		1,500	LREE	Mixed and separated REO
China	Baotou Steel Rare Earth Co ¹	Bayan Obo	Carbonatite	59,500	LREE	Mixed and separated REO
China	Jiangzi Copper Rare Earth	Maoniuping	Carbonatite	2,5000	LREE	Mixed and separated REO
China	Minmetals Ganzhou Rare Earth Co.	Jiangxi	Ion-adsorp.	9,000	HREE	Mixed and separated REO
China	Xiamen Tungsten Co.	Fujian	Ion-adsorp.	2,000	HREE	Mixed and separated REO
China	Guangdong Rare Earth Industry Group	Guangdong	Ion-adsorp.	2,000	HREE	Mixed and separated REO
China	Chinalco Rare Earth Co.	Guangzi	Ion-adsorp.	2,500	HREE	Mixed and separated REO
China	China Minmetals Rare Earth Co.	Hunan	Ion-adsorp.	2,000	HREE	Mixed and separated REO
China	China Iron and Steel Research Institute Group	Weishan	Ion-adsorp.	2,600	HREE	Mixed and separated REO
China	China Minmetals Rare Earth Co.	Yunnan	Ion-adsorp.	200	HREE	Mixed and separated REO
India	Indian Rare Earth Ltd	Tamil Nadu	Placer	2,800	LREE	Mineral concentrate
India	Kerala Metals and Minerals	Kerala	Placer	240	LREE	Mineral concentrate
Malaysia	Pegang Mining Co.	Kinta Valley	Placer	100	LREE	Mineral concentrate
Russia	Lovozerkiy GOK	Lovozero	Alkaline	2,400	HREE	Mineral concentrate
USA	Molycorp (operation abandoned 2016)	Mountain Pass	Carbonatite	20,000	LREE	Mixed and separated REO
Vietnam	Lavreco/Sojitz/Toyota	Dong Pao	Placer	220	LREE	Minex and separated REO

Πίνακας 4.2. Ορυχεία και οι εταιρίες που τις διαχειρίζονται ανά το κόσμο, πηγή: Adamas 2015; Jesper Zeuthen, pers. Comm. Oct. 2016.

Παρακάτω στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρούνται τα ποσοστά των REOs στα ορυκτά των σπανίων γαιών, που εξάγονται στα μεγαλύτερα μεταλλεία ανά τον κόσμο.

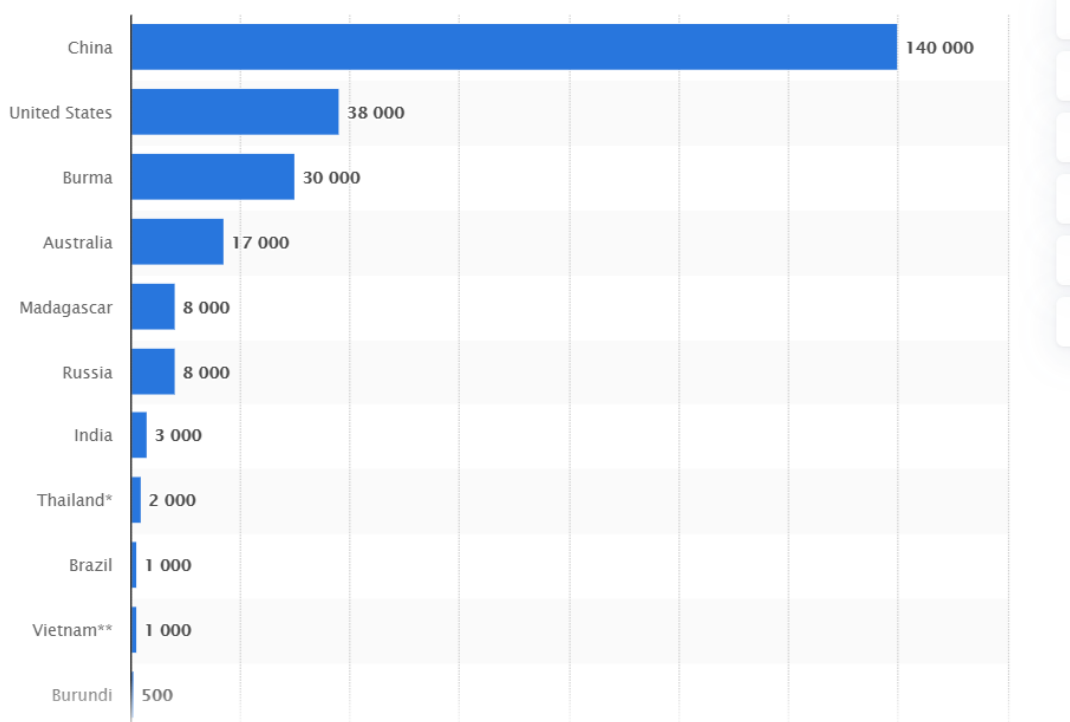


Διάγραμμα 4.3. Αναλογίες μεμονωμένων συγκεντρώσεων οξειδίων σπανίων γαιών (REO) σε επιλεγμένα ορυκτά και μεταλλεύματα REE, πηγή Roskill, 2011 και TMR, 2015.

Η Κίνα εξακολουθεί να είναι μέχρι σήμερα ο μεγαλύτερος παραγωγός στοιχείων σπανίων γαιών στον κόσμο. Η χώρα παρήγαγε περισσότερο από το 60% της συνολικής παραγωγής σπανίων γαιών στον κόσμο το 2019. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Γεωλογικής Έρευνας των ΗΠΑ, η παραγωγή REE της Κίνας αυξήθηκε από 120.000 t το 2018 σε 132.000 τόνους το 2019. Η παγκόσμια παραγωγή REE αυξήθηκε από 190.000 t το 2018 σε 210.000 t το 2019.

Οι ΗΠΑ που παρήγαγαν 26.000 τόνους REE το 2019 σε σύγκριση με 18.000 τόνους το 2018 είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός σπανίων γαιών στον κόσμο. Το ορυχείο σπανίων γαιών Mountain Pass είναι σήμερα το μόνο λειτουργικό ορυχείο σπανίων γαιών στις ΗΠΑ.

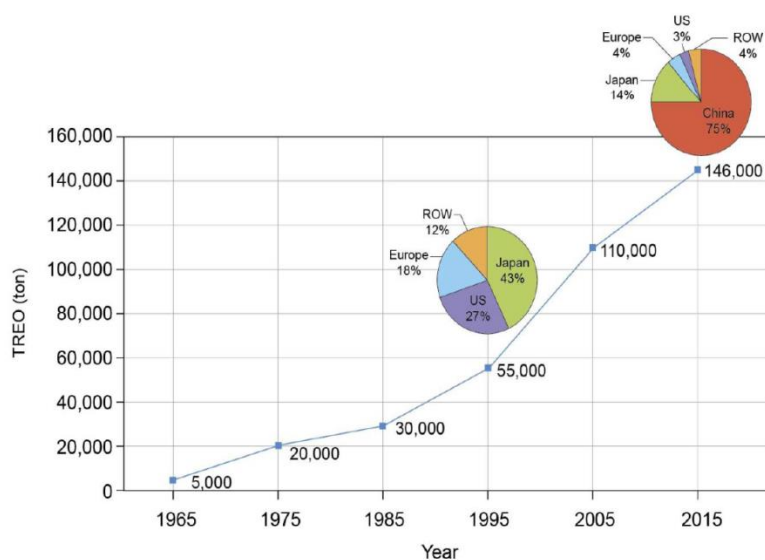
Στην παρακάτω εικόνα 4.2 αποτυπώνεται η παγκόσμια παραγωγή REOs για το 2020. Η συνολική παραγωγή ήταν περίπου 249.000 t REOs, με την Κίνα να κυριαρχεί και να κατέχει το 56% την παγκόσμια παραγωγής.



Εικόνα 4.2. Παγκοσμιά παραγωγή REOs σε μετρικούς τόνους για το έτος 2020, πηγή: (<https://www.statista.com/statistics/268011/top-countries-in-rare-earth-mine-production>)

4.2. Παγκόσμια ζήτηση

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι αλλαγές στη συνολική ζήτηση σπανίων γαιών από το 1965 έως το 2015 ανά δεκαετία: Το 1965, η παγκόσμια ζήτηση ανήλθε περίπου στα 5.000 t συνολικών οξειδίων σπανίων γαιών ή TREO (Total Rare Earth Oxides), ενώ το 2015 εκτιμήθηκε σε περίπου 145.000 - 150.000 t TREO. Το διάγραμμα δείχνει επίσης τη σημαντική μετατόπιση των περιφερειακών προτύπων ζήτησης (ζήτηση ανά χώρα). Το 1995, η Ιαπωνία αντιπροσώπευε περίπου το 43% της παγκόσμιας ζήτησης, οι ΗΠΑ περίπου το 27%, η Ευρώπη για το 18% και ο υπόλοιπος κόσμος για το 12%. 20 χρόνια αργότερα, το 2015 η Κίνα είναι αυτή που κυριαρχεί κατέχοντας το 75% της παγκόσμιας ζήτησης, με την Ιαπωνία να ακολουθεί με 14%, την Ευρώπη με 4%, τις ΗΠΑ με 3%, ενώ ο υπόλοιπος κόσμος κατέχει το υπόλοιπο 3%.

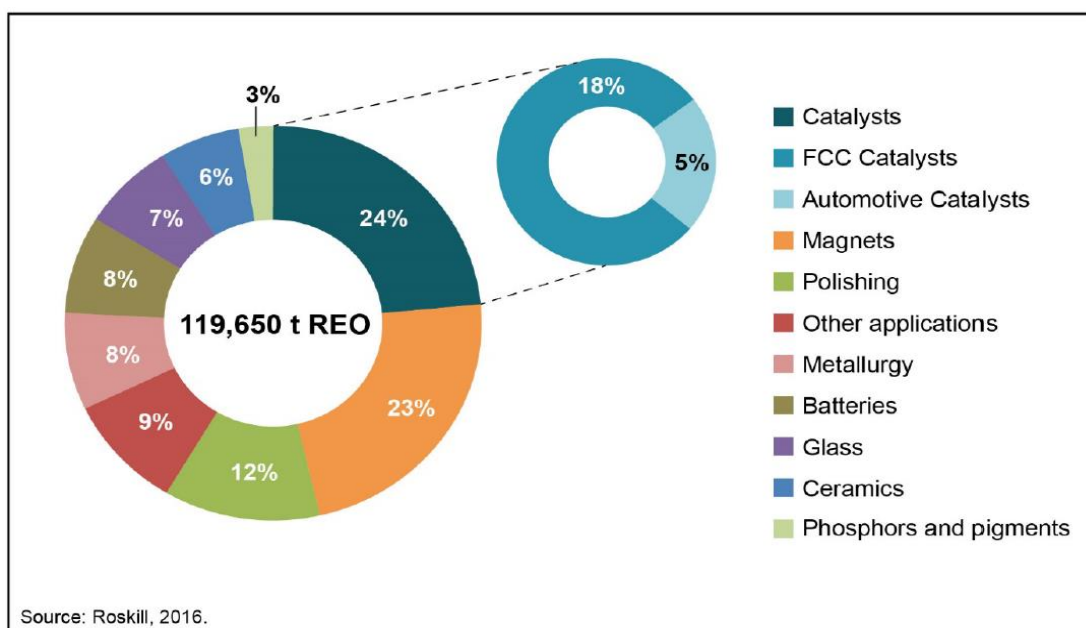


Διάγραμμα 4.4. Συνολική ζήτηση σπανίων γαιών σε αλλαγές δεκαετίας (t REO), 1965-2015, πηγή: MiMa-GEUS, 2016 προσαρμοσμένο από τον Kirk-Othmer, 2005 και Kingsnorth, 2016. Πίτα και μερίδιο ζήτησης αγοράς το 1995: Kirk-Othmer, 2005, σελ. 11. Πίτα και μερίδιο ζήτησης αγοράς στη στήλη του 2015 προήλθε από τον Adamas Intelligence, 2014.

Τα ποσοστά των οξειδίων των σπανίων γαιών (REO) σε παγκόσμια κλίμακα ανάλογα με το ποσοστό χρήσης τους στα διάφορα τελικά προϊόντα και τα υποπροϊόντα παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1. Πιο συγκεκριμένα:

1. Καταλύτες σε ποσοστό 24% (με καταλυτική πυρόλυση FCC στο 18% και καταλύτες αυτοκίνητων στο 5%)

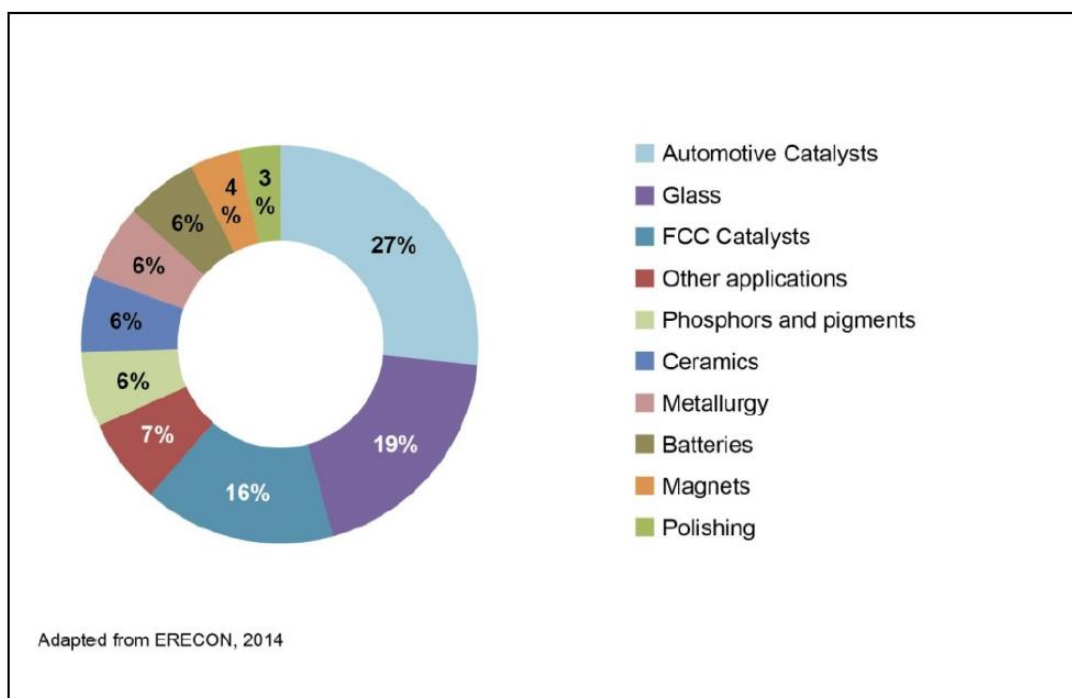
2. Μαγνήτες σε ποσοστό 23%
3. Στίλβωση σε ποσοστό 12%
4. Διάφορες άλλες εφαρμογές σε ποσοστό 9%
5. Μεταλλουργία σε ποσοστό 8%
6. Μπαταρίες σε ποσοστό 8%
7. Γυαλιά σε ποσοστό 7%
8. Κεραμικά σε ποσοστό 6%
9. Φώσφοροι και χρωστικές ουσίες σε ποσοστό 3%



Σχήμα 4.1. Η παγκόσμια κατανάλωση REOs το 2015 εκτιμήθηκε σε περίπου 120.000 - 125.000 t REOs (Binnemans, 2015; Rollat et al., 2016).

Όσον αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχουν διαφοροποιήσεις στους μέσους όρους χρήσης των σπανίων γαιών σε σύγκριση με τον υπόλοιπο κόσμο. Το ποσοστό χρήσης των σπανίων γαιών στις διάφορες βιομηχανίες στην Ευρώπη φαίνεται στο σχήμα 4.2. Πιο συγκεκριμένα:

1. καταλύτες αυτοκίνητων στο 27%
2. Γυαλιά στο 19%
3. καταλυτική πυρόλυση FCC στο 16%
4. Διάφορες άλλες εφαρμογές σε ποσοστό 7%
5. Φώσφοροι και χρωστικές ουσίες σε ποσοστό 6%
6. Κεραμικά σε ποσοστό 6%
7. Μεταλλουργία σε ποσοστό 6%
8. Μπαταρίες σε ποσοστό 6%
9. Μαγνήτες σε ποσοστό 4%
10. Στίλβωση σε ποσοστό 3%



Σχήμα 4.2. Οι χρήσεις των REE στην Ευρώπη, πηγή: ERECON (2014).

Από το 1995, η ζήτηση για τις σπάνιες γαίες στην Κίνα αυξήθηκε σημαντικά και αντιπροσωπεύει περίπου το 75% της παγκόσμιας ζήτησης. Η ζήτηση των σπανίων γαιών στην Ιαπωνία μειώθηκε στο 14%, ακολουθούμενη από την Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο με περίπου 4% και τις ΗΠΑ με 3%. Η ζήτηση των σπανίων γαιών στην Κίνα ξεπέρασε εκείνη της Ιαπωνίας, και έφτασε να αντιπροσωπεύει τα τρία τέταρτα της παγκόσμιας ζήτησης σε διάστημα δύο δεκαετιών μόνο.

Μέχρι το 2000, η Κίνα εξήγαγε κυρίως εξαρτήματα που περιέχουν σπάνιες γαίες, όπως μαγνήτες, φωσφόρους και σκόνης στίλβωσης. Από τις αρχές του αιώνα, οι εξαγωγές σπανίων γαιών από την Κίνα περιελάμβαναν όλο και περισσότερο προηγμένα καταναλωτικά προϊόντα, όπως μπαταρίες, κινητά τηλέφωνα και LCD. Η εξέλιξη αυτή βρίσκεται σε άνοδο από τότε.

Η αγορά σπανίων γαιών αναμένεται να καταγράψει ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης άνω του 7,5% (Mordor Intelligence, 2021), κατά τη διάρκεια της περιόδου 2021 έως 2026. Οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν την ανάπτυξη της αγοράς που μελετήθηκε είναι η υψηλή ζήτηση από τις αναδυόμενες οικονομίες, η εξάρτηση της «πράσινης τεχνολογίας» από στοιχεία σπανίων γαιών και εταιρείες που εστιάζουν στην έρευνα και την ανάπτυξη. Από την άλλη πλευρά, η ασυνεπής προσφορά και η παράνομη

εξόρυξη στοιχείων σπανίων γαιών είναι μερικές από τις ανησυχίες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της αγοράς.

- Η κατηγορία των σπανίων γαιών κυριάρχησε στην αγορά και είναι πιθανό να αυξηθεί κατά την περίοδο πρόβλεψης, με αυξανόμενες εφαρμογές και αυξανόμενη ζήτηση από διάφορους κλάδους.
- Η αυξανόμενη χρήση Σκανδίου σε αεροδιαστημικές εφαρμογές είναι πιθανό να προσφέρει ευκαιρίες για τη μελετημένη αγορά, κατά τη διάρκεια της περιόδου πρόβλεψης.
- Η Ασία και Ειρηνικός κυριάρχησε στην παγκόσμια αγορά, λόγω της αυξανόμενης παραγωγής μετάλλων σπανίων γαιών και της αυξανόμενης ζήτησης από βιομηχανίες, όπως ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης.

4.3. Τιμές και εμπόριο σπανίων γαιών

Οι μεγαλύτερες εταιρείες που εμπορεύονται τις σπάνιες γαίες και τα υλικά τους είναι λιγότερες από 20 και αποτελούνται από (Seeking Alpha, 2011):

- 1 στις ΗΠΑ Molycorp
- 5 στον Καναδά, η Avalon Rare Metals, η Great Western Minerals, η Neo Material Technologies, η Rare Element Resources και η VMS Ventures
- 3 στην Αυστραλία, η Alkane Resources, η Arafura Resources και η Lynas Corporatio,
- 4 στην Κίνα, η Baotou Steel Rare Earth Hi-Tech, η China Rare Earth Holdings, η Jiangxi Copper και η Aluminium Corporation of China
- 1 στην Ιαπωνία η Showa Denko
- 2 στην Ινδία, η Indian Rare Earth και η Kerala Minerals and Metals
- 3 στη Ρωσία η JSC Sevredmet, η Solikamsk Magnesium Works και η Irtysh Rare Earths

Η Inner Mongolia Baotou Steel Rare-Earth Hi-Tech Co., Ltd. Είναι ο μεγαλύτερος παγκόσμιος παραγωγός μετάλλων σπανίων γαιών. Η Εταιρεία, που ασχολήθηκε κυρίως με την παραγωγή και πώληση εξευγενισμένων προϊόντων ορυχείων REE, το 2010, παρήγαγε περίπου 62.400 t προϊόντων REOs (Reuters, 2011).

Ο διαχωρισμός και η επεξεργασία προϊόντων REE από συμπυκνωμένα υλικά πραγματοποιούνται από πολύ λίγες εταιρείες, σε παγκόσμιο επίπεδο, που δεν συνδέονται με τον χώρο εξορύξεων. Μερικές από αυτές είναι η AMR Technologies Inc. (Καναδάς), ο σημαντικότερος μεταγενέστερος κοινός φορέας σπανίων γαιών στην Κίνα, η Inner Mongolia HEFA Rare Earth Science & Technology Development, η Gansu Rare Earth Corp., η Xinwei Group, Magnequench και Yue Long (για μη σιδηρούχα μέταλλα Κίνα), η Rhodia Electronics and Catalysts (Γαλλία), που συνεργάζεται με παρόμοιες εταιρείες στην Κίνα, τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία, οι Grace Davison και Santoku America (ΗΠΑ) Shin-Etsu και Anan Kasei (Ιαπωνία) Treibacher Industrie AG (Αυστρία) και, η AS Silmet (Εσθονία). Οι περισσότεροι από αυτούς τους παραγωγούς ειδικεύονται σε μαγνήτες και καταλύτες (Spooner, 2011).

Η συγκέντρωση της παραγωγής σε μικρό αριθμό χωρών και η δραστική μείωση των εξαγωγών, με τη ραγδαία εκβιομηχάνιση των αναδυόμενων οικονομιών (πρώτα απ' όλα, την Κίνα, την Ινδία και τη Βραζιλία), έφεραν ανταγωνισμό για τις πρώτες ύλες και προκάλεσαν τεράστια και ξαφνική άνοδο στις τιμές των πρώτων υλών τα τελευταία χρόνια. Για παράδειγμα, παρατίθενται παρακάτω οι τιμές των πιο σημαντικών από αυτές (λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το ονομαστικό προϊόν REOs 99%, τη βάση εξαγωγής FOB Κίνας, τσε το μέσο σημείο υψηλής και χαμηλής τιμής) σύμφωνα με αποθήκη στο Ρότερνταμ, με δασμούς χωρίς καταβολή. Αυτές οι τιμές αναφέρονται από την Metal-Prices (Metalpages Inc., 2011-2012), μια διεθνή αναγνωρισμένη εταιρεία χρηματοοικονομικών αναλυτών.

Εξετάζοντας τις ιστορικές τάσεις των τιμών REO, από τα πρώτα χρόνια έως σήμερα, μπορούμε να εντοπίσουμε δύο διαφορετικές φάσεις. Κατά την περίοδο 1991–2007, η

παραγωγή αυτών των πρώτων υλών άλλαξε από περίπου 50.000 t/y σε σχεδόν 130.000 t/y, ενώ οι μέσες τιμές μειώθηκαν, από 13 US \$/t σε κάτι περισσότερο από 5 US \$/t. Από το 2007 και μετά, οι παραγόμενες ποσότητες άρχισαν να αυξάνονται, με το 2010 να είναι 134.000 t/y ενώ οι τιμές όλων των REO έχουν αυξηθεί. Αυτές οι εξελίξεις, τόσο των παραγόμενων ποσοτήτων όσο και των τιμών, οφείλονται κυρίως στο ρόλο της Κίνας. Αρχικά, η Κίνα είχε τον αποκλειστικό ρόλο του παραγωγού, ενώ την τελευταία περίοδο, έγινε επίσης σημαντικός καταναλωτής και, ελέγχει τις πολιτικές τιμών αγοράς, ενώ όπως γνωρίζουμε, θεσπίζει ποσοστώσεις ελέγχου των εξαγωγών (Papp et al., 2008).

Οι σημαντικότερες αυξήσεις σημειώθηκαν το 2012, είναι (Metalpages Inc., 2011-2012):

Πίνακας 4.3. Τιμές σε σημαντικά στοιχεία σπανίων γαιών το 2011, πηγή: Metalpages Inc., 2011-2012

Στοιχείο	Τιμή πώλησης (USD/kg)		
	2009	2010	Ιούλιος 2011 (μήνας υψηλότερης τιμής)
Δημήτριο	4,5	61	158
Λανθάνιο	6,25	60	151,5
Πρασινοδύμιο	14	86,5	248,5
Νεοδύμιο	14	87	318
Δυσπρόσιο	100	295	2.510
Ευρώπιο	450	630	5.870
Τέρβιο	35	605	4.410

Το 2013, πάντα σύμφωνα με τα αποσπάσματα Metal-Pages, υπήρξε μια ξαφνική και ουσιαστική πτώση των τιμών από τα υψηλότερα επίπεδα του Ιουλίου 2011:

- Η τιμή του Δημήτριου έπεσε 73% (2011, 42,5 US \$/kg),
- Η τιμή του Λανθάνιου έπεσε 76% (2011, 36 US \$/kg),

- Η τιμή του Πρασινοδύμιου έπεσε 30% (2011, 175 US \$/kg) ·
- Η τιμή του Νεοδύμιου έπεσε 52% (2011, 154 US \$/kg)
- Η τιμή του Δυσπρόσιου έπεσε 40% (2011, 1.500 US \$/kg)
- Η τιμή του Ευρώπιου έπεσε 32% (2011, 4.010 US \$/kg)
- Η τιμή του Τέρβιου έπεσε 23% (2011, 3.400 US \$/kg)

Αυτή η αλλαγή τάσης οφείλεται πολύ πιθανό, σε διαφορετικούς λόγους, όπως: (Lian & Stanway, 2011):

- Στην πραγματική και επίμονη βαριά οικονομική κρίση των βιομηχανικών χωρών.
- Στη βιομηχανική συρρίκνωση της υψηλής τεχνολογίας και κατανάλωσης
- Στη διάθεση στην αγορά μεγάλων αποθεμάτων REO από ορισμένους Κινέζικους ιδιωτικούς φορείς που φοβούνται πιθανές επιθεωρήσεις και δημεύσεις από την κινεζική κυβέρνηση

Λόγω του γεγονότος ότι η αγορά REE περιορίζεται σε λίγους φορείς εκμετάλλευσης που δεν έχουν συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης, δηλαδή συμβάσεις με τις οποίες θα ήταν δυνατόν να προβλεφθούν οι πιθανές τιμές, δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε ακριβώς και με διαφάνεια τις τιμές τους. Αυτό συμβαίνει και για άλλες πρώτες ύλες, που διαπραγματεύονται συνήθως σε χρηματιστήρια όπως το London Metals Exchange (LME) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

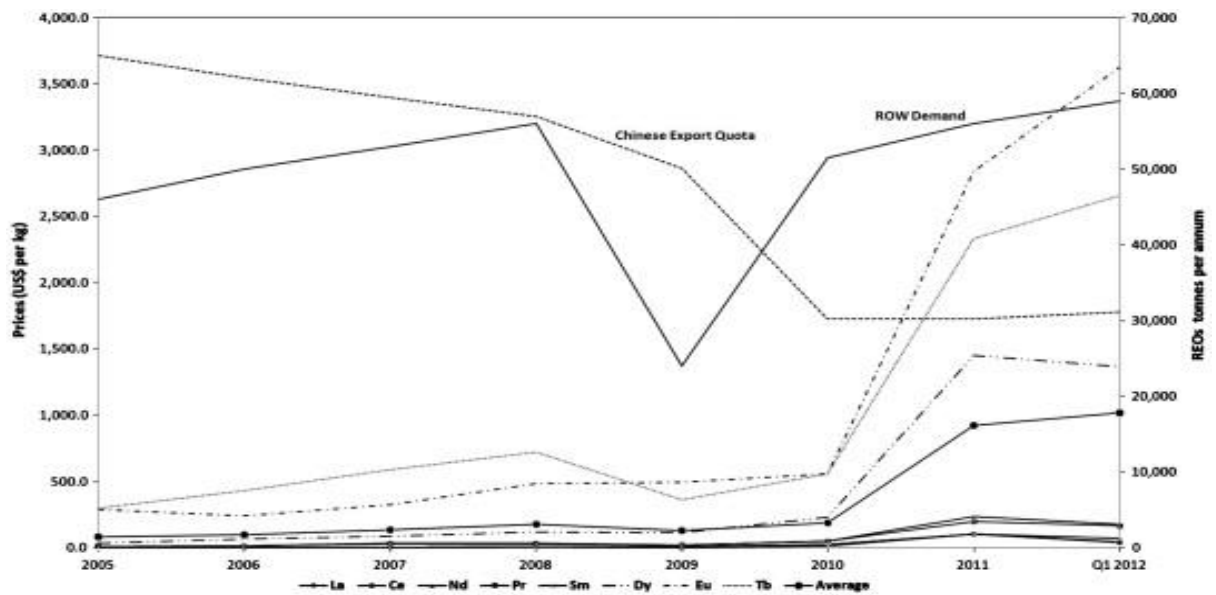
Επιπλέον, η REM (RareEarthMetals) δεν είχε καν χρηματοδοτικό ταμείο στο χρηματιστήριο. Ο μόνος τρόπος για να ακολουθήσει την εξέλιξη και τις τάσεις των επίσημων τιμών αγοράς τους ήταν να τις αντλήσει από τις τιμές των σχετικών μεταλλευτικών εταιρειών. Το πρώτο αμοιβαίο κεφάλαιο των ΗΠΑ (ExchangeTradeFund) που επενδύει σε εταιρείες που παράγουν REE, με το σύμβολο

REMX, ξεκίνησε διαπραγμάτευση από τις 28 Οκτωβρίου 2010, στο NYSE Area Stock Exchange, παρακολουθώντας ένα δείκτη που περιλαμβάνει 24 εταιρείες εξόρυξης (Ghosh, 2010).

Από την ημερομηνία αυτή, η αξία του REMX-ETF αυξήθηκε μέχρι τον Απρίλιο του 2011 (από 20,61 στα 27,78 US \$ pro quota - ποσόστωση) Μεταξύ Απριλίου και Σεπτεμβρίου 2011 έπεσε, φτάνοντας στην τιμή των 15,36 US \$ (Yahoo Finance, 2011).

4.3.1. Ισοζύγιο ζήτησης - προσφοράς έναντι τιμών

Οι τμηματοποιημένες γραμμές, που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, έχουν πολλά ενδιαφέροντα σημεία συζήτησης. Κατά κύριο λόγο, όσον αφορά στις τιμές, έχουν ληφθεί υπόψη μόνο οκτώ επιλεγμένα οξείδια σπανίων γαιών (Λανθανίου, Δημήτριου, Νεοδύμιου, Πρασινοδύμιου, Σαμάριου, Δυσπρόσιου, Ευρώπιου και Τέρβιου), δεδομένου ότι έχουν, βεβαίως, το υψηλότερο εμπορικό ενδιαφέρον μεταξύ όλων. Στην πραγματικότητα, σε μια αξιόπιστη προβλεπόμενη ανάλυση εφοδιασμού και παραγωγής, η οποία διεξήχθη από τη Βιομηχανική Εταιρεία Ορυκτών (Lynas Corp), αυτά τα οκτώ στοιχεία αντιπροσώπευαν το 2014 πάνω από το 90% της παραγωγής όλων των σπανίων γαιών, που ισούται με 203.500 tREOs και το 93% της προβλεπόμενης ζήτησης, ίση με 180.000 t REO (Smith, 2015). Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι, μέχρι τώρα, δεν υπάρχουν διαθέσιμες τακτικές και αξιόπιστες πληροφορίες τιμολόγησης για τα άλλα μέταλλα (τα περισσότερα από αυτά πωλούνται με ιδιωτικές συναλλαγές), όπως επισημαίνεται από πολλούς βιομηχανικούς αναλυτές αυτού του τομέα (Lynas Corp.)



Σχήμα 4.3. Παροχή οξειδίων σπανίων γαιών σε καθαρότητα 99% (ποσοστώση κινεζικής εξαγωγής), ζήτηση και τιμές του υπόλοιπου κόσμου (ROW), πηγή: Lynas Corp. (2012) , Metalpages Inc. (2011-2012) , Hatch, 2011 , Molycorp Inc. (2012) Frontier Rare Earths Ltd. (2012) , Kingsnorth (2010b) και British Geological Survey (2011).

Μια άλλη σημαντική προϋπόθεση αφορά στην επιλογή να ληφθεί υπόψη ο παγκόσμιος εφοδιασμός σπανίων γαιών που συμπίπτει με τις ποσοστώσεις εξαγωγής που καθορίζονται ετησίως από την κινεζική κυβέρνηση. Αυτό γιατί, επί του παρόντος, σχεδόν ολόκληρη η παγκόσμια παραγωγή REEs είναι προνόμιο της Κίνας. Στη συνέχεια, δεδομένου ότι οι τιμές καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό με βάση το κινεζικό FOB και μόνο για τα προϊόντα που εξάγουν, για λόγους μεθοδολογικής αυστηρότητας, ομοιογένειας, συνάθροισης και συγκρισιμότητας στατιστικών δεδομένων, μόνο η δυναμική της ζήτησης ROW (χώρες του υπόλοιπου κόσμου ή εκτός Κίνας) και αυτές των κινεζικών ποσοστώσεων (ως παγκόσμια προσφορά) θα ληφθούν υπόψη. Αυτό, επειδή μόνο για αυτές τις δύο μεταβλητές (ζήτηση ROW και κινεζικές ποσοστώσεις), υπάρχουν συγκρίσιμα στατιστικά και αξιόπιστες στατιστικές πληροφορίες. Η ακόλουθη σημαντική υπόθεση είναι ότι η παγκόσμια ζήτηση REE συμπίπτει με την ROW. Επιπλέον, οι τιμές FOB, που θα ληφθούν υπόψη, σχετίζονται με τα REE που εξάγονται από την Κίνα. Από αυτήν την άποψη, παρατηρήσαμε ότι οι τιμές των σπανίων γαιών, που αναφέρονται στα ποσά που πωλούνται εντός των κινεζικών συνόρων, είναι πολύ χαμηλότερες από τις τιμές FOB και, στη συνέχεια, αυτά τα δεδομένα δεν θα συσχετιζόνταν στατιστικά μεταξύ τους. Έτσι, δεν θα ήταν

μεθοδολογικά σωστό να συγκρίνουμε τις διεθνείς τιμές FOB και τις ποσότητες σπανίων γαιών που απαιτούνται εντός των κινεζικών συνόρων.

Οι διαφορές στις τιμές (μεταξύ εμπορευμάτων ROW και Κίνας) οφείλονται σε πολιτικούς λόγους και στη σημαντική επίπτωση της εισφοράς προστιθέμενης αξίας και των εξαγωγικών δασμών σε REE που εγκαταλείπουν την κινεζική χώρα: αυτοί οι δασμολογικοί συντελεστές κυμαίνονται από 15% έως 25% (Metalpages Inc., 2011-2012).

Κοιτάζοντας το παραπάνω σχήμα, μια ισχυρή αύξηση των τιμών μεταξύ 2010 και 2011, ειδικά για το Ευρώπιο, το Τέρβιο και το Δυσπρόσιο, που ανήκουν στην ομάδα των HREs (με κυρίαρχο το μοναζίτη), είναι άμεσα εμφανής. Αυτά τα στοιχεία είχαν μια ιδιαίτερα ισχυρή αύξηση της ζήτησης και των τιμών επειδή δεν υπάρχουν νέα ορυχεία και αποτελεσματικά υποκατάστατα για εφαρμογές υψηλής απόδοσης, όπως εξαρτήματα μαγνητών υψηλής ισχύος, που χρησιμοποιούνται σε ορισμένα ηλεκτρικά, υβριδικά οχήματα και ανεμογεννήτριες (Northern Minerals Ltd., 2012). Αυτή η έκρηξη των τιμών, ειδικότερα, φαίνεται να σχετίζεται με τη δυναμική της προσφοράς και όχι της ζήτησης. Στην πραγματικότητα, η κατάρρευση της ζήτησης του υπόλοιπου κόσμου το 2009 (μειώθηκε, από το 2008 έως το 2009, από 56.000 t/y σε περίπου 24.000 t/y), σε μεγάλο βαθμό ως συνέπεια της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης, φαίνεται ότι δεν είχε άμεσες επιπτώσεις στις τιμές των σπανίων γαιών, με εξαίρεση, ίσως, την ελαφρά μείωση της τιμής του Τέρβιου. Αντίθετα, φαίνεται ότι ήταν η συρρίκνωση της παγκόσμιας προσφοράς REOs, όπως ανακοινώθηκε, την 1η Σεπτεμβρίου 2009, από την κινεζική κυβέρνηση που εγκαινίασε μια ολοκληρωμένη πολιτική ποσοστώςσεων εξόρυξης, την δηλαδή κύρια αιτία της υπερβολικής αύξησης των τιμών. Αναφερόμενοι στα οκτώ στοιχεία που εξετάστηκαν, παρουσίασαν άνοδο 750%, μεταξύ 2010 και 2011, από 260 US \$/kg σε 1.952 US \$/kg. Ακόμη και με ουσιαστικά σταθερή ζήτηση (51.500 t το 2010 και 56.000 t το 2011) και την προσφορά, στα έτη αμέσως μετά το 2010, οι τιμές συνέχισαν να αυξάνονται λόγω της διαφοράς μεταξύ ζήτησης και προσφοράς, όπως μπορούμε να δούμε στο σχήμα 4.3. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στον φόβο των οικονομικών φορέων για μελλοντική

έλλειψη διαθεσιμότητας REE γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη πιο σημαντικές βραχυπρόθεσμες αυξήσεις των τιμών.

Για το λόγο αυτό υπάρχει ακόμη η ανάγκη να εξεταστούν εναλλακτικές τεχνολογίες και επιλογές ανακύκλωσης. Επιπλέον, οι υψηλότερες τιμές θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη εξορυκτικών δραστηριοτήτων εκτός της Κίνας, προκειμένου να αποφευχθεί σοβαρή έλλειψη στοιχείων σε μελλοντική ζήτηση παγκοσμίως.

Όσον αφορά στην αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης (συμπεριλαμβανομένης της Κίνας), μεταξύ 2005 και 2010, το μεγαλύτερο μέρος προήλθε από την Κίνα (11% ετησίως), ενώ η ανάπτυξη στον υπόλοιπο κόσμο ήταν σχεδόν 4% ετησίως, πιθανώς λόγω της οικονομικής κρίσης και της περιορισμένης διαθεσιμότητας. Κατά τα επόμενα τρία χρόνια, φαίνεται ότι περισσότερο από το ένα τρίτο της αύξησης της ζήτησης οφείλεται στην επέκταση των βιομηχανικών εφαρμογών μαγνητών NdFeB υψηλής ισχύος, με ετήσια αύξηση 9,9% (Molycorp, 2012). Άλλα σημαντικά τμήματα ζήτησης θα είναι εκείνα των μπαταριών NiMH, των φωσφορικών, του οπτικού γυαλιού και των κεραμικών (Roskill Information Services, 2011). Σε γενικό επίπεδο, σύμφωνα με μια αξιόπιστη πηγή πληροφοριών (Industrial Minerals Company of Australia Pty Ltd, IMCOA), η παγκόσμια ζήτηση ΑΕ, κατά την περίοδο 2011-2014, αυξήθηκε μέχρι 11% ετησίως. Η υψηλότερη ανάπτυξη παρουσιάζεται για τους μαγνήτες (10–15%) και κράματα μετάλλων (15–20%), που απαιτούν τα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα (Kara et al., 2010).

Όπως μπορούμε να δούμε από το σχετικό γράφημα, από το 2010 υπήρχε ένα σημαντικό και διευρυνόμενο χάσμα μεταξύ προσφοράς και ζήτησης (το 2011, ιδίως, η κινεζική προσφορά REOs ήταν μικρότερη από το 60% της ζήτησης ROW (Smith, 2010)). Το πλεόνασμα της ποσότητας REE που παρέχεται σε σύγκριση με αυτά που απαιτήθηκαν μειώθηκε σταδιακά με την πάροδο των ετών έως ότου φθάσει, την τριετία 2010-2012, σε καταστάσεις δραματικού ελλείμματος. Η ετήσια διαφορά μεταξύ προσφοράς και ζήτησης είχε αλλάξει ριζικά. 19.000 t το 2005, 12.000 t το 2006, 6500 t το 2007, 1000 t το 2008, 26.000 t το 2009 (λόγω της αναφερόμενης

γενικής οικονομικής κρίσης), 21.000 t το 2010, , 26.000 t το 2011 και, πιθανότατα, 28.000 t το 2012, μια τάση που αυξάνεται με σταθερό ρυθμό. Οι βιομηχανικοί τομείς που περισσότερο από άλλους, υπέστησαν άμεσες επιπτώσεις από αυτήν την κατάσταση ήταν αναμφίβολα εκείνοι που χρησιμοποίησαν, σε μεταγενέστερα εμπορεύματα, πολύ μεγάλες ποσότητες REE σε εφαρμογές όπως οι καταλύτες. Για το λόγο αυτό, οι χώρες ROW (rest of the world) εντείνουν τα τελευταία χρόνια τις εθνικές προσπάθειες αποθεματοποίησης, δεδομένης της συνεχούς κυριαρχίας της Κίνας στην παραγωγή REE, καθώς και προσπάθειες για τον εντοπισμό και την ανάπτυξη νέων πηγών REE εκτός Κίνας.

Στον Πίνακα 4.4., αναφέρονται οι τιμές των πιο σημαντικών σπανίων γαιών σε \$/kg (οι ίδιες οκτώ με αυτές που φαίνονται στο Σχήμα 4.3.) την περίοδο 2011-2012, ξεκινώντας από το πρώτο τρίμηνο (Q1) του 2011 έως τις 4 Ιουνίου 2012.

Πίνακας 4.4 . Οι τιμές REO σε βάση FOB Κίνας (US \$ ανά kg). Πηγή: Lynas Corp. (2012) , Metalpages Inc. (2011-2012) , Frontier Rare Earths Ltd. (2012) και British Geological Survey (2011).

	1^οτρίμηνο 2011	2^ο τρίμηνο 2011	3^ο τρίμηνο 2011	4^ο τρίμηνο 2011	1 τρίμηνο 2012	04/06/2012
La	75.90	135.02	117.68	66.46	42.31	24.00
Ce	77.50	138.29	118.65	59.31	37.92	25.00
Nd	130.20	256.15	338.85	244.23	177.31	120,00
Pr	119.70	220.08	244.73	209.62	163.08	120,00
Sm	72.80	125.60	129.45	95.31	73.85	88,00
Dy	412.90	921.20	2262.31	2032.31	1366.15	1070,00
Eu	719.20	1830.00	4900,00	3800,00	3623.08	2320,00
Tm	717.60	1659.20	3761.40	2973.85	2658.46	2000.00
Μέση τιμή	290.73	660.69	1484.13	1185.14	1017.77	720.88

Οι τιμές έφθασαν στο υψηλότερο σημείο από τότε που διαπραγματεύονται αυτά τα υλικά, κατά το τρίτο τρίμηνο του 2011. Συγκεκριμένα, από το 1ο τρίμηνο έως το τρίτο τρίμηνο του 2011, το Τέρβιο παρουσίασε αύξηση 420%, το Δυσπρόσιο 450% και το Ευρώπιο 580 %. Παρόλο που είναι από τα σπάνια στοιχεία, αυτά τα τρία HREE απέκτησαν μεγαλύτερη σημασία στη βιομηχανία (British Geological Survey, 2011). Τον Ιούνιο του 2012, οι τιμές επέστρεψαν ουσιαστικά σε εκείνα τα επίπεδα του δεύτερου τριμήνου του 2011. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται πιθανότατα στον αποπληθωρισμό της κερδοσκοπικής φούσκας, που είχε αποσταθεροποιήσει την αγορά συναλλαγών στους μεσαίους μήνες του 2011 ως αποτέλεσμα της μείωσης των αποθεμάτων και στην αιτιολογημένη άρνηση, από τους αγοραστές, να πληρώσουν τόσο υψηλές τιμές. Αυτές οι τιμές, ωστόσο, παραμένουν πολύ υψηλές.

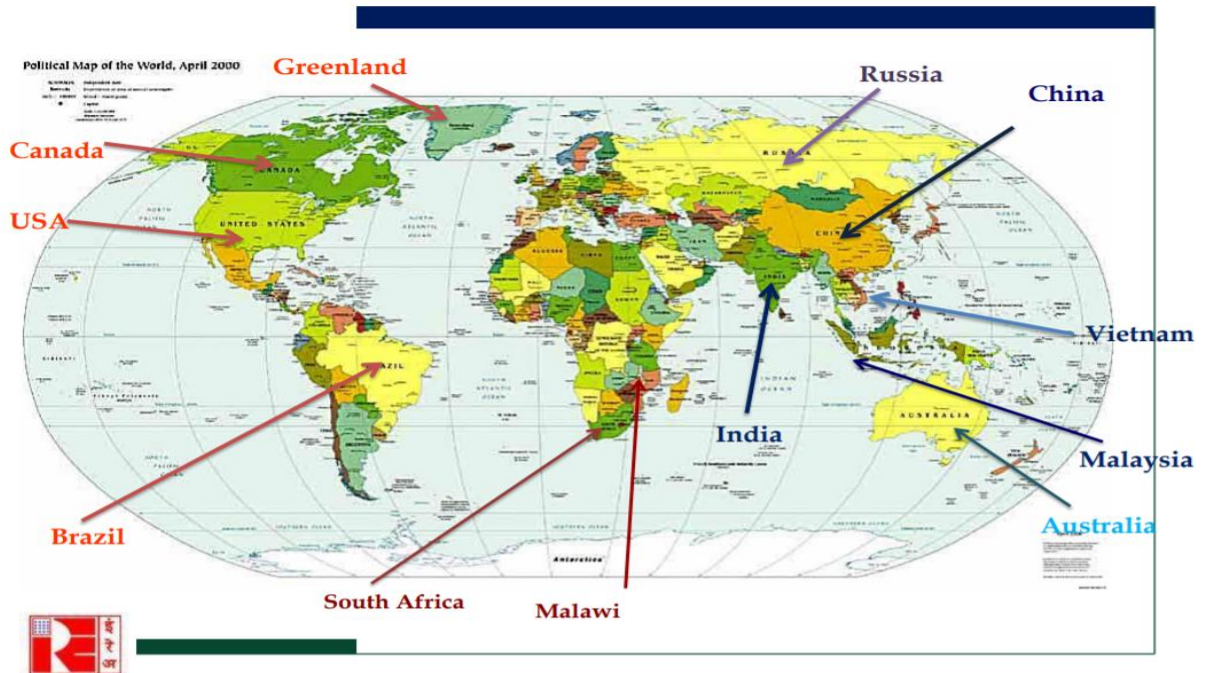
Υπό αυτές τις συνθήκες, είναι εύκολα κατανοητό ότι γίνεται δύσκολο να προβλεφθεί, με ένα ορισμένο περιθώριο χρόνου, ποια θα είναι τα μελλοντικά επίπεδα τιμών. Στην πορεία από το 2012 έως το 2020 υπήρξαν μεγάλες διαφοροποιήσεις στις τιμές των σπανίων γαιών, όμως τα νούμερα διαμορφώνονται ανάλογα με την ζήτηση τους στην τεχνολογία. Στο παρακάτω πίνακα 4.5 αποτυπώνονται οι μέσες τιμές του έτους 2020 σε 11 οξειδία σπανίων γαιών με καθαρότητα 95%.

Πίνακας 4.5. Μέση τιμή σε 11 οξείδια σπανίων γαιών με 95% καθαρότητα, για το έτος 2020, πηγή : www.statista.com

Οξείδια σπανίων γαιών (REO)	Τιμή 2020 σε USD / kg
Οξείδια Nd	76,80
Οξείδια Pr	54,75
Οξείδια Gd	26,7
Οξείδια Er	25,05
Οξείδια Y	3,075
Οξείδια Sa	1,73
Οξείδια Ce	1,5
Οξείδια La	1,46
Οξείδια Tb	1,1
Οξείδια Dy	0,29
Οξείδια Eu	0,32

Για τον προσδιορισμό τους, στην πραγματικότητα, πολλοί παράγοντες δρουν ταυτόχρονα. Δεν είναι μόνο η προσφορά και η ζήτηση, αλλά και σημαντικά κερδοσκοπικά φαινόμενα ώθησης και γενικευμένες ανησυχίες σχετικά με μια ξαφνική έλλειψη προσφοράς αυτών των πόρων τα χρόνια που έρχονται. Επίσης, ο μικρός αριθμός προμηθευτών θα μπορούσε να προκαλέσει τις μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών. Ωστόσο, είναι σαφές ότι, τουλάχιστον μεσοπρόθεσμα, η παγκόσμια διαθεσιμότητα αυτών των ορυκτών θα αυξηθεί, μετά το άνοιγμα νέων ορυχείων σε διαφορετικά μέρη του κόσμου. Ακόμα κι αν θα αυξηθεί παράλληλα, πιθανότατα σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό, η συνολική κατανάλωση REEs, λόγω της συνεχούς αύξησης των υφιστάμενων και καινοτόμων εφαρμογών και της ανάπτυξης νέων τελικών χρήσεων.

5. Ορυχεία σπανίων γαιών ανά τον Κόσμο



Εικόνα 5.1. Χώρες με ορυχεία εξόρυξης σπανίων γαιών ανά τον κόσμο, πηγή: www.irel.gov.in

5.1. Ορυχείο Bayan Obo

Το ορυχείο Bayan Obo που βρίσκεται στην περιοχή της εσωτερικής Μογγολίας της Κίνας. Ανακαλύψεις των μεταλλευμάτων Fe στο Main Orebody το 1927 από τον Mr. Daoheng Ding και σπανίων γαιών από τον Mr. Zuolin He, οδήγησαν σε άνοιγμα του ορυχείου Bayan Obo το 1957. Είναι το μεγαλύτερο ορυχείο σπανίων γαιών (REE) στον κόσμο και το δεύτερο μεγαλύτερο ορυχείο πηγής Νοβίου (Nb) ενώ παράλληλα αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή του Σιδήρου της Κίνας (USGS, 2015). Χαρακτηρίζεται τόσο για το μέγεθός του σε ανακτήσιμα αποθέματα όσο και σε παραγωγή. Αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 40% των συνολικών γνωστών αποθεμάτων REE στον κόσμο και πραγματοποιεί σχεδόν το ήμισυ της παγκόσμιας παραγωγής σπανίων γαιών. Ανήκει και λειτουργεί από την Κινεζική κρατική εταιρία Baogang Group μητρική της Baotou Iron and Steel Group. Περισσότεροι από 80% ελαφροί πόροι σπανίων γαιών (LREE) στην Κίνα διανέμονται στην περιοχή Bayan Obo.



Εικόνα 5.2.:Πανοραμική απεικόνιση του ορυχείου BayanObo, πηγή: www.ejatlans.org ,GlobalAtlas of Environmental Justice

Στο Bayan Obo, έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες, ιδιαίτερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες στο γεωλογικό υπόβαθρο, στα ορυκτά συστατικά, τη γεωχρονολογία και τη γεωχημεία του υπεδάφους. Τόσο οι περίπλοκες συνθέσεις των στοιχείων και των ορυκτών όσο και οι διάφορες γεωλογικές δραστηριότητες και εκδηλώσεις στο Bayan Obo, αποτέλεσαν ορόσημο στη γένεση αυτού του μεγάλου κοιτάσματος μεταλλεύματος REE. Το κοιτάσμα στο Bayan Obo εκτιμάται ότι περιέχει πάνω από 100 εκατομμύρια τόνους (Mt) αποδεδειγμένων αποθεμάτων σπανίων γαιών που αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 80% των συνολικών αποθεμάτων σπανίων γαιών στην Κίνα.

GEOLOGY OF RARE EARTH ELEMENTS

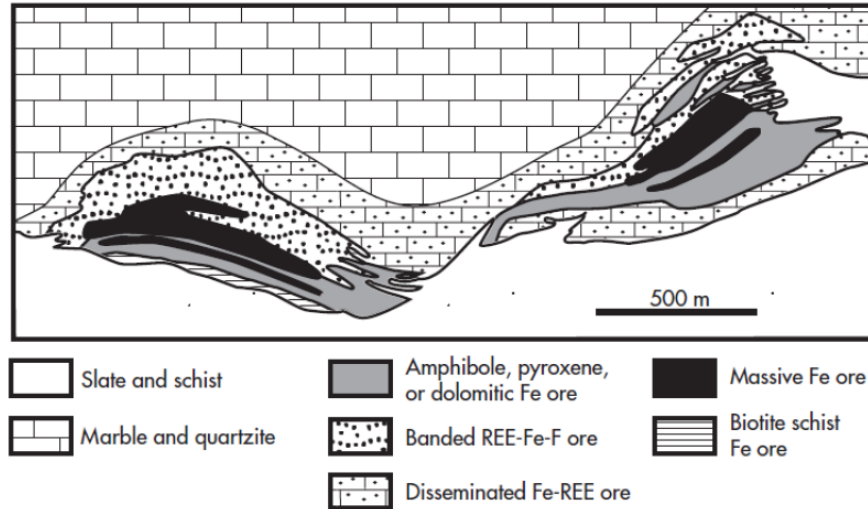


Figure 2. Geologic map of the Main and East iron-REE-niobium ore bodies at Bayan Obo, China (Chao *et al.* 1997).

Εικόνα 5.3: Γεωλογικό υπόβαθρο Bayan Obo, πηγή: Applications of Rare Earth Elements in geological studies a seminar presentation by Adeyinka, Solomon Adeola University of Ilorin Supervisor: DR. O.A. Adekeye January, 2016.

Το Bayan Obo παράγει 15 είδη ορυκτών σπανίων γαιών που χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές, όπως διύλιση πετρελαίου, μόνιμοι μαγνήτες, τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και σε εφαρμογές μεταλλουργίας, στίλβωσης και άμυνας (χρήση σε αμυντικά συστήματα και όπλα).

Το ορυχείο Bayan Obo εκτείνεται σε 48 km² στην αυτόνομη περιφέρεια της Εσωτερικής Μογγολίας, στο βόρειο άκρο του Kraton της Βόρειας Κίνας, περίπου 150 km βορειοδυτικά του Baotou. Η περιοχή εξόρυξης Bayan Obo χωρίζεται σε τρεις κύριες ζώνες μεταλλεύματος: το Main Orebody, το East Orebody και το West Orebody.



Εικόνα 5.4.: Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής Bayan Obo, πηγή: www.ejatlases.org, Global Atlas of Environmental Justice

Το Bayan Obo είναι μία τεράστια πολυμεταλλική τοποθεσία σπανίων γαιών (REE) και εναπόθεση μεταλλεύματος σιδήρου υδροθερμικής προέλευσης. Το κύριο (Main) και το ανατολικό (East) σώμα του ορυχείου (Orebody) περιλαμβάνουν πόρους σιδήρου με μήκος κοιτάσματος άνω των 1000 m και κατά μέσο όρο 5,3% οξείδια σπανίων γαιών. Οι μακροχρόνιες εξορυκτικές δραστηριότητες στην περιοχή παρήγαγαν μεγάλες ποσότητες μεταλλευμάτων. Τα μέταλλα σιδήρου και REEs εξάγονται επί του παρόντος με ρυθμό 15.000 t ημερησίως από τα Main and East Orebodies. Τα ακατέργαστα ορυκτά μεταφέρονται 120 km βόρεια μέσω σιδηροδρόμων, στην πόλη Baotou.

Το κοιτάσμα Bayan Obo περιλαμβάνει περισσότερα από 100 ορυκτά με τα κύρια μεταλλεύματα σπανίων γαιών να είναι ο μοναζίτης και ο μαστναζίτης. Τα οξείδια σπανίων γαιών και του Νιοβίου παράγονται ως υποπροϊόντα της εξόρυξης σιδηρομεταλλεύματος στο Bayan Obo. Το μέταλλευμα περιέχει επίσης ορισμένα ραδιενεργά στοιχεία. Το μέταλλευμα περιέχει συνολικά 15 στοιχεία σπανίων γαιών με τρία κύρια στοιχεία του Λανθανίου (La), του Δημήτριου (Ce) και του Νεοδύμιου (Nd) που βρίσκονται σε υψηλότερα ποσοστά. Τα μέταλλα σιδήρου που βρίσκονται στο μέταλλευμα περιλαμβάνουν μαγνητίτη και αιματίτη. Το μέταλλευμα στην

περιοχή του Bayan Obo περιέχει επίσης πολλά ορυκτά Νιόβιου, όπως ο φεργουσονίτης, ο αισουνίτης και ο κολοβίτης. Τα κύρια ορυκτά γαγγίου που βρίσκονται στο μέταλλευμα Bayan Obo είναι ο χαλαζίας, ο απατίτης, ο δολομίτης και ο φθορίτης.

5.1.1. Εξόρυξη στο Bayan Obo

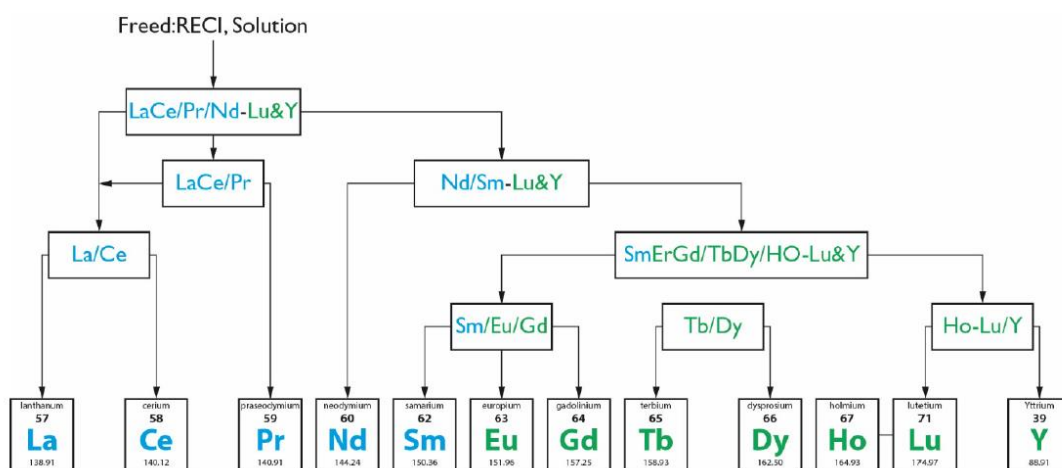
Η μέθοδος εξόρυξης που χρησιμοποιείται στο Bayan Obo γίνεται με επιφανειακή εξόρυξη μεταλλεύματος (open pit mining). Το συγκρότημα ορυχείων περιλαμβάνει τρεις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, δηλαδή την Κύρια, την Ανατολικό και το Δυτική, καθώς και εγκαταστάσεις θραύσης και χώρους απόθεσης απορριμμάτων. Το Main pit έχει μήκος 1.520 m και πλάτος 1.080 m, ενώ το East pit έχει μήκος 1.400 m και πλάτος 1.020 m. Το West pit που έχει μήκος 4,6 km και πλάτος έως 1,2 km είναι το μεγαλύτερο μεταξύ των τριών εκμεταλλεύσεων.

5.1.2. Επεξεργασία μεταλλεύματος

Το υλικό μεταλλεύματος από την περιοχή των ορυχείων αποστέλλεται στο Βαοτου για επεξεργασία. Βρίσκεται περίπου 150 km νότια του Bayan Obo. Το Βαοτου είναι γνωστό ως πρωτεύουσα της «σπάνιας γης» της Κίνας. Το Bayan Obo και το Βαοτου συνδέονται σιδηροδρομικά και οδικώς. Το Βαοτου φιλοξενεί μεταλλουργία σιδήρου και χάλυβα, καθώς και εγκαταστάσεις επεξεργασίας σπανίων γαιών για την παραγωγή οξειδίων σπανίων γαιών, χλωριδίων, ανθρακικών καθώς και διαφορετικών προϊόντων κράματος.

Τα στοιχεία σπανίων γαιών από το μέταλλευμα διαχωρίζονται και καθαρίζονται μέσω μαγνητικού διαχωρισμού, επίπλευσης και υδρο-μεταλλουργικών τεχνικών που περιλαμβάνουν έκπλυση, λουτρά οξέος και εκχύλιση με διαλύτη. Τα στοιχεία ελαφριάς σπάνιας γαίας (LREE) και τα στοιχεία βαριάς σπάνιας γαίας (HREE)

παράγονται με μεθόδους λιωμένου άλατος και μεταλλοθερμική αναγωγή κενού αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1. Παράδειγμα διαδικασίας σχηματισμού διαχωρισμού εκχύλισης με διαλύτη REE, πηγή: προσαρμογή από τους Zhang and Zhao, 2016, σελ. 96.

Η China Northern Rare Earth (Group) High-Tech Co., θυγατρική του ομίλου Baogong, είναι ιδιοκτήτης και διαχειριστής των εγκαταστάσεων επεξεργασίας στο Βαοτου. Είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής σπανίων γαιών στον κόσμο.

Οι μακροχρόνιες εξορυκτικές δραστηριότητες για την παραγωγή σιδήρου και μεταλλεύματος REE που εξορύσσονται επί του παρόντος με ρυθμό 15.000 t ημερησίως, έχουν παράγει και τεράστιες ποσότητες απορριμμάτων, με αποτέλεσμα μια περιοχή αποθέσεων που καλύπτει 11,5 km² να περιέχει 150 εκατομμύρια t απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένων κυρίως στοιχείων σπανίων γαιών, καθώς και τοξικών χημικών στοιχείων, βαρέων μετάλλων και ραδιενεργού υλικού (Θόριο). Αυτό το φράγμα τελμάτων (το οποίο κάλεσαν οι ντόπιοι " Λίμνη Σπάνιας Γης ", ή αλλιώς " xituhu ") χτίστηκε το 1966, ταυτόχρονα με τα εργοστάσια επεξεργασίας που χρησιμοποιούν όξινα λουτρά για να εξαγάγουν τις REE από τα υπολείμματα του εξορυγμένου μεταλλεύματος . Η μέθοδος οξέος είναι η φθηνότερη και η πιο ρυπογόνα, σε σύγκριση με τις άλλες διαθέσιμες αλκαλικές μεθόδους (χαμηλή ρύπανση αλλά υψηλό κόστος).

Εκτός από το Bayan Obo, τα άλλα ορυχεία σπανίων γαιών στην Κίνα περιλαμβάνουν το Daluxiang (Dalucuo) και το Maoniuring στην επαρχία Sichuan, καθώς και με τις αποθέσεις αργίλου με ιοντική προσρόφηση REE στις επαρχίες Jiangxi, Hunan, Fujian, Guangdong και Guangxi.

5.2. Ορυχείο Mountain Pass

Το ορυχείο σπανίων γαιών Mountain Pass βρίσκεται κοντά στο όρος Mountain Pass στην κομητεία San Bernardino, της Καλιφόρνια, απέχει περίπου 96 km νοτιοδυτικά του Λας Βέγκας, της Νεβάδα. Βρίσκεται σε υψόμετρο 1.440 m αμέσως βόρεια του Inter state 15, περίπου 24 km από τα σύνορα της Νεβάδας και περίπου 48 km από το Baker της Καλιφόρνια.



Εικόνα 5.5.:Μια γενική άποψη του ανοιχτού ορυχείου Mountain Pass στην Καλιφόρνια, όπως φαίνεται το 2015, πηγή: WWW.REUTERS.COM

Είναι το μοναδικό ορυχείο σπανίων γαιών (REE) των ΗΠΑ. Με μέση περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 8%, το Mountain Pass θεωρείται ένα από τα υψηλότερης ποιότητας σε κοιτάσματα σπανίων γαιών στον κόσμο.

Το 1949 ανακαλύφθηκε το Mountain Pass, που αποτελεί ένα κοιτάσμα με ανθρακικό άλας πλούσιο σε σπάνιες γαίες. Επίσης το γνωστό ως Sulphide Queen deposit, το σώμα του μεταλλεύματος Mountai Pass χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη διείσδυση καρμπονατιτών. Το σώμα του μεταλλεύματος αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη, δολομίτη, Βαρύτη και μπασνασίτη σε διαφορετικές αναλογίες, ενώ ο μπασναζίτης είναι το πιο εξέχον οικονομικό ορυκτό που βρίσκεται στην αποθήκη.

Το 1952 εξερευνήθηκε για πρώτη φορά ως εναπόθεση Ουρανίου, όμως δόθηκε έμφαση στις σπάνιες γαίες. Τότε το ορυχείο Mountain Pass ήταν η μεγαλύτερη πηγή στοιχείων σπανίων γαιών έως ότου η Κίνα άρχισε να κυριαρχεί στην παγκόσμια παραγωγή σπανίων γαιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Η επιχείρηση εξόρυξης σπανίων γαιών Mountain Pass έχει υποστεί αλλαγές ιδιοκτησίας και αναστολές παραγωγής πολλές φορές τις τελευταίες έξι δεκαετίες.

Η MP Materials, ο τρέχων ιδιοκτήτης και χειριστής, ξεκίνησε εκ νέου τις εργασίες εξόρυξης στο ορυχείο σπανίων γαιών Mountain Pass το τελευταίο τρίμηνο του 2017. Ο νέος ιδιοκτήτης υλοποιεί ένα έργο εκσυγχρονισμού στο Mountain Pass για την παραγωγή τελικών προϊόντων οξειδίου σπανίων γαιών (REO) επιτόπου έως το τέλος του 2020. Ο διαχειριστής Hedge Fund με έδρα το Σικάγο JHL Capital Group κατέχει ποσοστό 65% στην MP Materials, ενώ η QVT Financial με έδρα τη Νέα Υόρκη έχει μερίδιο 25%. Το υπόλοιπο ποσοστό ανήκει στην Leshan Shenghe Rare Earth με έδρα την Κίνα.

Η Molybdenum Corporation of America όπως αναφέρθηκε ξεκίνησε τις εργασίες εξόρυξης σπανίων γαιών στο Mountain Pass το 1952. Η Unocal Corporation απέκτησε τη Molybdenum Corporation of America το 1977 και συνέχισε την

παραγωγή σπανίων γαιών έως το 1998. Η εξορυκτική δραστηριότητα στο Mountain Pass διακόπηκε λόγω των χαμηλών τιμών για τις σπάνιες γαίες το 2002. Η Chevron Mining, θυγατρική της Chevron Corporation, αγόρασε το ορυχείο από την Unocal το 2005 και άρχισε να επεξεργάζεται αποθέσεις σπανίων γαιών στο χώρο το 2007.

Η Molycorp απέκτησε το ορυχείο σπανίων γαιών του Mountain Pass από τη Chevron τον Σεπτέμβριο του 2008 και ξεκίνησε εκ νέου τις εξορυκτικές εργασίες στην περιοχή το 2010. Η Molycorp, η οποία επένδυσε περίπου 1 δισ. Λίρες (1,5 δισ. Δολάρια τότε) για την ανάπτυξη του ορυχείου σπανίων γαιών Mountain Pass, χρεοκόπησε το 2015, με αποτέλεσμα την αναστολή των εξορυκτικών εργασιών.

Η MP Materials απέκτησε το ορυχείο τον Ιούνιο του 2017 και ξεκίνησε την εξόρυξη το τέταρτο τρίμηνο του 2017, ενώ η παραγωγή συμπυκνωμάτων σπανίων γαιών στο ορυχείο που άνοιξε ξανά πραγματοποιήθηκε το 2018.

Το ορυχείο Mountain Pass εκτιμάται ότι παράγει 26.000 t συμπυκνώματα σπανίων γαιών το 2019 σε σύγκριση με 18.000 t το 2018. Το μοναδικό ορυχείο σπανίων γαιών στις ΗΠΑ αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 10% της συνολικής παραγωγής συμπυκνωμάτων σπανίων γαιών στον κόσμο.

Το συνεχιζόμενο πρόγραμμα εκσυγχρονισμού στο ορυχείο περιλαμβάνει την επανεκκίνηση της εγκατάστασης Chlor-Alkali (που χτίστηκε από τον προηγούμενο ιδιοκτήτη Molycorp) και παράγωγη χημικών αντιδραστηρίων που απαιτούνται για την επεξεργασία διαφορετικών οξειδίων σπανίων γαιών, ανακυκλώνοντας το διάλυμα αποβλήτων από τη μονάδα διαχωρισμού σπανίων γαιών της υπάρχουσας κύριας μονάδας επεξεργασίας.

Προγραμματισμένο για ολοκλήρωση έως το τέλος του 2020, το πρόγραμμα εκσυγχρονισμού επέτρεψε στα MP Materials να παράγουν οξείδια σπανίων γαιών,

όπως το Νεοδύμιο, το Πρασινοδύμιο, το Λανθάνιο και το Δημήτριο καθώς και τα συμπυκνώματα βαριάς σπάνιας γης (HREE) στις εγκαταστάσεις, αποφεύγοντας έτσι να αποστέλλονται τα συμπυκνώματα σπανίων γαιών στην Κίνα περαιτέρω για επεξεργασία.

Το ορυχείο σπανίων γαιών Mountain Pass εκτιμάται ότι περιέχει 18,4 εκατομμύρια τόνους αποδεδειγμένων και πιθανών αποθεμάτων μεταλλεύματος ανθρακίτη με περιεκτικότητα σε οξείδια 7,98% REO.

Η συμβατική μέθοδος εξόρυξης που εφαρμόζεται στο ορυχείο σπανίων γαιών Mountain Pass είναι υπαίθριας εκμετάλλευσης (open pit). Μετά την εξόρυξη, το μέταλλευμα μπαστναζίτη διαχωρίζεται από αποθέσεις ορυχείων και αποστέλλεται στην κοντινή εγκατάσταση επεξεργασίας. Το υλικό του μεταλλεύματος υφίσταται σύνθλιψη, άλεση, προετοιμασία και επίπλευση στην εγκατάσταση εμπλουτισμού για την παραγωγή συμπυκνώματος σπανίων γαιών. Το ληφθέν συμπύκνωμα υποβάλλεται στη συνέχεια σε χημική διαδικασία για τον καθαρισμό, ανάκτηση, διαχωρισμό και καθίζηση μεμονωμένων REEs. Τα REOs συμπεριλαμβανομένων Δημητρίου, Λανθανίου και NdPr οξειδίων υποβάλλονται σε επεξεργασία και συσκευάζονται για της χρήσεις της αγοράς.

Ο χώρος του ορυχείου Mountain Pass REE είναι προσβάσιμος μέσω της εξόδου Bailey Road από το Interstate 15. Ο ηλεκτρισμός τροφοδοτείται μέσω μιας γραμμής 12kV από έναν υποσταθμό της Νότιας Καλιφόρνιας Edison που βρίσκεται 3,4 km μακριά από την τοποθεσία του έργου.



Εικόνα 5.6. Δορυφορική απεικόνιση της περιοχής που εδράζεται το ορυχείο MountainPass, πηγή:www.googleearth.com

5.3. Ορυχείο Mt Weld

Το ορυχείο σπανίων γαιών του Mt Weld που βρίσκεται στην περιοχή Goldfields της Δυτικής Αυστραλίας είναι ένα από τα υψηλότερης ποιότητας ορυχεία σπανίων γαιών που λειτουργούν στον κόσμο. Το έργο ανήκει και λειτουργεί από τη Lynas. Το ορυχείο περιλαμβάνει σημαντικές εναποθέσεις στοιχείων σπανίων γαιών (REE), όπως Λανθάνιο (La), Δημήτριο (Ce), Πρασινοδύμιο (Pr), Νεοδύμιο (Nd), Σαμάριο (Sm), Ευρώπιο (Eu), Γαδολίνιο (Gd), Τέρβιο (Tb), Δυσπρόσιο (Dy) και Ύτριο (Y).

Η μελέτη σκοπιμότητας για το έργο ολοκληρώθηκε τον Μάρτιο του 2005, η οποία υπολόγισε ότι το κόστος ανάπτυξης του ορυχείου ανερχόταν σε 558 εκατ. £ (1 δισ. Αμερικανικά δολάρια \$). Τα υλικά σπανίων γαιών από το ορυχείο μεταφέρονται στο Lynas Advanced Materials Plant (LAMP) στο Kuantan της Μαλαισίας.



Εικόνα 5.7. Ορυχείο Mount Weld στην Αυστραλία, πηγή: Lynas Corporation

Παρόλο που η εξόρυξη στην περιοχή ξεκίνησε το 2007 και οι πρώτες αποστολές συμπυκνωμάτων στο εργοστάσιο εμπλουτισμού πραγματοποιήθηκαν το 2011, η εγκατάσταση LAMP στη Μαλαισία ξεκίνησε εμπορικές δραστηριότητες το 2013. Το εργοστάσιο έφτασε στην υψηλότερη παραγωγή του, σε αριθμό 19.737 t, συμπεριλαμβανομένων 5.898 t Νεοδύμιο και Πρασινοδύμιο το 2019.

Το ορυχείο σπανίων γαιών του Mt Weld βρίσκεται περίπου 35 km νοτιοδυτικά του Laverton στην περιοχή Kalgoorlie GoldFields της Δυτικής Αυστραλίας. Το έργο σπανίων γαιών Mt Weld περιλαμβάνει τέσσερις μέτωπα εξόρυξης, συμπεριλαμβανομένων των M38 / 58, M38 / 59, M38 / 326 και M38 / 327, οι οποίες έχουν μακροχρόνια αδεία λειτουργίας που μπορεί να ανανεωθεί αυτόματα για περιόδους 20 ετών.

Το κοίτασμα βρίσκεται πάνω από ένα ηφαιστειακό ρήγμα ηλικίας δύο δισεκατομμυρίων ετών και εκτιμάται ότι το ρήγμα σε μήκος 1,8 km έχει πληρωθεί με υλικά από εξαλλοιώσεις δημιουργώντας ένα υψηλής ποιότητας κοίτασμα υπερήλικου οξειδίου σπανίων γαιών (REO) με περιεκτικότητα που κυμαίνεται από 1% έως 5%.

Τα αποδεδειγμένα και πιθανά αποθέματα στο ορυχείο σπανίων γαιών του Mount Weld από τον Ιούνιο του 2019 εκτιμήθηκαν ότι ήταν 19,5 Mt με τα οξειδία σπανίων γαιών (TREO) να αξιολογούνται στο 8,5% δηλαδή συνολικά 1,64 Mt οξειδίων σπανίων γαιών. Το σύνολο των μετρημένων και πιθανών αποθεμάτων εκτιμάται στα 55,2 Mt, εκ των οποίων περιείχαν 2,98 Mt οξειδία σπανίων γαιών.

Η εκμετάλλευση στο Mount Weld προχωρεί με τη συμβατική μέθοδο ανοιχτής εξόρυξης (open pit). Το μέταλλευμα εξορύσσεται με εκρηκτικά μέσα, στην συνέχεια συλλέγεται και φορτώνεται σε φορτηγά. Τα φορτηγά μεταφέρουν το μέταλλευμα στο εργοστάσιο συγκέντρωσης που βρίσκεται 1,5 km από το ορυχείο. Το μέταλλευμα στο εργοστάσιο ακολουθεί την διαδικασία του προεμπλουτισμού, θραύεται προτού τροφοδοτηθεί στην φάση του εμπλουτισμού και υποστεί επίπλευση. Τα συμπυκνώματα επίπλευσης παχύνονται και διηθούνται μέχρι που το τελικό συμπύκνωμα αποστέλλεται στην ανατολική ακτή της Μαλαισίας στο Lynas Advanced Materials Plant (LAMP) στο Κουαντάν, όπου υποβάλλεται και σε επεξεργασία.



Εικόνα 5.8. Εργοστάσιο επίπλευσης Mount Weld, πηγή: Lynas Corporation

Το έργο Mt Weld και το εργοστάσιο Lynas Malaysia επεκτείνονται ως μέρος του προγράμματος της Lynas NEXT. Στη Lynas απονεμήθηκε το σημαντικότερο καθεστώς έργου από την Αυστραλιανή κυβέρνηση τον Φεβρουάριο του 2020. Η εταιρεία θα κατασκευάσει ένα νέο εργοστάσιο επεξεργασίας σπανίων γαιών στο Kalgoorlie, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη θραύση και την έκπλυση του συμπυκνώματος από το ορυχείο του Mt Weld. Το εργοστάσιο θα δημιουργήσει περίπου 500 θέσεις εργασίας κατά τη φάση κατασκευής και αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία έως το 2023.

Μια τρίτη εγκατάσταση αποθήκευσης αποθέσεων κατασκευάστηκε και τέθηκε σε λειτουργία ως μέρος της επέκτασης το 2019. Ο έλεγχος για την επέκταση του σκληρότερου κυκλώματος επίπλευσης ολοκληρώθηκε ενώ επίσης εγκαταστάθηκε και τέθηκε σε λειτουργία η τεχνολογία Stack Cell Flotation. Τα κυκλώματα SX βελτιστοποιήθηκαν για να αυξήσουν την παραγωγή και ένα από τα τέσσερα τρένα SX μετατράπηκε σε κύκλωμα δύο σταδίων για την παραγωγή διαχωρισμένων Nd και Pr. Τα κυκλώματα φινιρίσματος προϊόντος (PF) αναβαθμίστηκαν επίσης για να αυξήσουν την παραγωγή διαχωρισμένων Nd και Pr. Μια νέα εγκατάσταση βαρέων σπανίων γαιών σχεδιάζεται επίσης να κατασκευαστεί στο Τέξας των ΗΠΑ, η οποία θα επεξεργάζεται τα υλικά σπανίων γαιών από το ορυχείο Mt Weld.

Η σύμβαση προμήθειας ενός μεγάλου περιστροφικού κλιβάνου και συστήματος καύσης για το ψήσιμο στοιχείων σπανίων γαιών ανατέθηκε στη Metso Minerals τον Ιούλιο του 2020. Η αξία της σύμβασης είναι 11,7 εκατομμύρια λίρες (13 εκατομμύρια ευρώ). Ο κλίβανος που θα χρησιμοποιηθεί στη μονάδα πυρόλυσης και έκπλυσης θα τεθεί σε λειτουργία το 2022.

Ο Lynas επιλέχθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (DoD) για την κατασκευή εγκαταστάσεων διαχωρισμού βαρέων σπανίων γαιών στο Τέξας τον Απρίλιο του

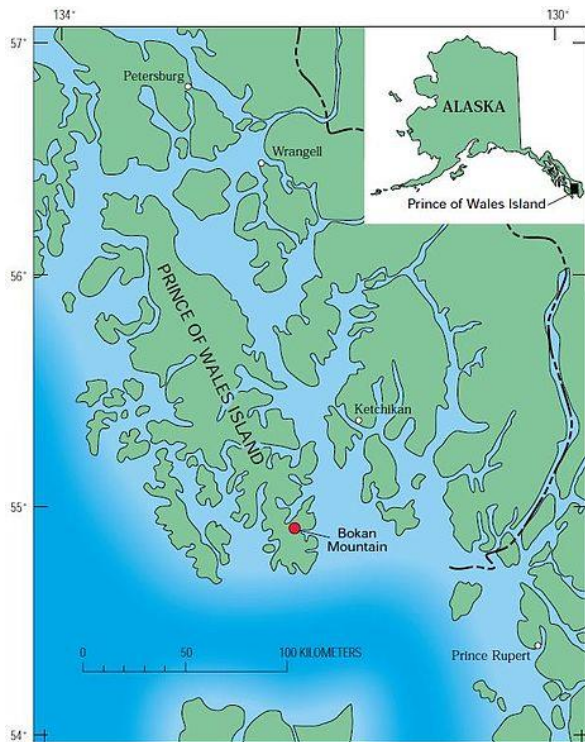
2020. Η εγκατάσταση θα επεξεργαστεί τα βαριά υλικά σπανίων γαιών που προέρχονται από το ορυχείο Mt Weld.

Οι εργολάβοι που ασχολήθηκαν με την αρχική ανάπτυξη ορυχείων Mt Weld περιελάμβαναν την Minerio Consulting, την Abesque Engineering & Construction (τώρα Forge Group), την Downer EDI, ενώ η σουίτα λογισμικού Geovia Surpac χρησιμοποιήθηκε για την τελική εκτίμηση του αποθεματικού μεταλλεύματος του έργου.

5.4. Ορυχείο Bokan-Doston

Το έργο Bokan-Doston Ridge είναι μια κατάθεση μεταλλευμάτων σπανίων γαιών που σχεδιάζεται να αναπτυχθεί από την UcoREE Rare Metals στο Bokan Mountain στην Αλάσκα των ΗΠΑ.

Η UcoREE σχεδιάζει να ολοκληρώσει μια μελέτη σκοπιμότητας για το έργο σπανίων και κρίσιμων μετάλλων ως μέρος του σχεδίου της για τα ορυχεία της, τα μέταλλα και την αγορά (σχέδιο M3) έως το 2021. Το σχέδιο M3 περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός υπόγειου ορυχείου μαζί με ένα εργοστάσιο επεξεργασίας στο Bokan και την κατασκευή του συγκροτήματος «στρατηγικών μετάλλων της Αλάσκας» (Alaska SMC), συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της αγοράς των σπανίων γαιών της Βόρειας Αμερικής.



Εικόνα 5.9. Γεωγραφική απεικόνιση της τοποθεσίας όπου μελετάτε να κατασκευαστεί το ορυχείο Bokan-Dotson πηγή:

www.commons.wikimedia.org

Η Ucore υπέβαλε τον Αύγουστο του 2012 ένα προτεινόμενο σχέδιο δραστηριοτήτων στην Υπηρεσία Δασικών Υπηρεσιών των Ηνωμένων Πολιτειών (USFS) για γεωτρήσεις και

ολοκλήρωσε μια προκαταρκτική οικονομική αξιολόγηση (PEA) για το έργο τον Ιανουάριο του 2013. Η έκθεση καθόρισε σχέδια για ένα υπόγειο ορυχείο όπου θα παράγει 1.500 t ημερησίως (tpd), ένα εργοστάσιο επεξεργασίας σπανίων γαιών, με μια εκτιμώμενη διάρκεια ζωής ορυχείων 11 ετών. Η εκτιμώμενη κεφαλαιουχική δαπάνη πριν από την παραγωγή θα αγγίζει τα 140 εκατομμύρια λιρών (221 εκατομμύρια δολάρια).

Το έργο Bokan-Dotson Ridge βρίσκεται δίπλα στον κόλπο Kendrick στο νότιο άκρο του νησιού Prince of Wales, περίπου 37 km νοτιοδυτικά του Ketchikan. Η τοποθεσία βρίσκεται εντός του Εθνικού Δρυμού Tongass, το οποίο περιλαμβάνει περίπου 640 στρέμματα αξιώσεις, 9.500 στρέμματα ομοσπονδιακές αξιώσεις και 640 στρέμματα κρατικών ορυχείων αξιώσεις. Το σώμα του μεταλλεύματος στο Bokan-Dotson Ridge περιέχει 14 στοιχεία βαρέων σπανίων γαιών από την ομάδα των Λανθανιδών, εκτός από το Ύττριο και το Σκάνδιο.

Το USFS χορήγησε την έγκριση για την επιτόπια των εργασία, η οποία περιελάμβανε την ανάπτυξη του προγράμματος γεωτρήσεων στα τέλη του σταδίου και την κατασκευή ενός ενδιάμεσου εργοταξίου το Σεπτέμβριο 2013. Ο κρατικός νομοθέτης της Αλάσκας ενέκρινε χρηματοδότηση ομολόγων ύψους 87 εκατομμυρίων λιρών

(145 εκατομμύρια δολάρια) για την υποστήριξη του κόστους υποδομής και κατασκευής του έργου τον Απρίλιο του 2014.

5.4.1. Αποθέματα σπανίων γαιών στο Bokan-Dotson Ridge

Το έργο εκτιμάται ότι θα διαθέτει 4,79 εκατομμύρια τόνους (Mt) ενδεικτικών πόρων με 0,602% περιεκτικότητα σε ολικά οξειδία σπανίων γαιών (TREO) και ποσοστό πόρων 1,05 Mt με ποσοστό 0,603% TREO σε 0,4% βαθμό αποκοπής από τον Μάιο του 2015. Ο μέσος όρος των ανακτήσιμων σπανίων γαιών εκτιμάται στο 81,6%. Η ετήσια παραγωγή στο ορυχείο Bokan-Dotson Ridge κατά τα πρώτα πέντε χρόνια λειτουργίας εκτιμάται σε 2.250 t οξειδίων σπανίων γαιών (REOs), συμπεριλαμβανομένων 515 t οξειδίου του Υτρίου (Y_2O_3), 95 t οξειδίου του Δυσπροσίου (Dy_2O_3) και 14 t οξειδίου του Τερβίου (Tb_4O_7).

Η Ucore σχεδιάζει να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο εναλλασσόμενης κόπης (cut and fill) με λιθογόμωση στο Bokan-Dotson Ridge ορυχείο σπανίων γαιών. Το εργοστάσιο επεξεργασίας ορυκτών στο ορυχείο Bokan αναμένεται να ενσωματώσει διαδικασίες ωφέλιμες για τις σπάνιες γαίες καθώς και για μέταλλα συμπαραγωγής όπως το Νιόβιο (Nb), το Άφνιο (Hf), το Ζιρκόνιο (Zr), το Τιτάνιο (Ti), το Βηρύλλιο (Be) και το Βανάδιο (V). Το εργοστάσιο αναμένεται να παράγει 735 tpd (τόνους την ημέρα) υλικών που θα χρησιμοποιηθούν ως συμπλήρωση στην δημιουργία πάστας για την λιθογόμωση. Επίσης θα χρησιμοποιηθεί τεχνολογία διαλογής ακτινών X για την τοποθέτηση μύλου απορριμμάτων σε υπόγειες περιοχές.

Οι μεμονωμένες βαριές σπάνιες γαίες και τα συμπαραγωγά προϊόντα που θα εισέρχονται στο εργοστάσιο επεξεργασίας Bokan για να υποστούν επεξεργασία και θα εμπλουτισθούν από την Alaska SMC για περαιτέρω χρήση στο Ketchikan της Νοτιοανατολικής Αλάσκας, προτού πωληθούν σε αγοραστές εκτός αγοράς ή στην εγχωρία τελική αγορά.

Το Alaska SMC σχεδιάζεται να είναι εξοπλισμένη με τη τεχνολογία διαχωρισμού RapidSX των σπανίων γαιών, η οποία είναι κατάλληλη τόσο για βαριές σπάνιες γαίες (HREE) όσο και για ελαφριές σπάνιες γαίες (LREE). Η SGS Canada ανέλαβε το σχεδιασμό για το αρχικό στάδιο της μονάδας επεξεργασίας ορυκτών στο εργοστάσιο ορυχείων Bokan τον Φεβρουάριο του 2020. Το πεδίο εφαρμογής της σύμβασης περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση εργαστηριακής κλίμακας του φύλλου ροής ωφέλιμης επεξεργασίας ορυκτών για τη μονάδα επεξεργασίας Bokan.

Η Ucore υπέγραψε επίσης μια συμφωνία τεχνικών υπηρεσιών με την Innovation Metals (IMC) για τη διεξαγωγή ενός προγράμματος δοκιμών για την επεξεργασία μικτών συμπυκνωμάτων REE, τα οποία θα παράγονται από το έργο Bokan σε διαχωρισμένα οξείδια σπανίων γαιών, από τον Φεβρουάριο του 2020. Η Ucore θα απέκτησει την τεχνολογία διαχωρισμού IMC και RapidSX REE υστέρη από τρεις μήνες.

Η Ausenc Engineering Canada συμμετείχε στη μελέτη σκοπιμότητας του έργου. Η Stantec παρείχε αρχικό σχεδιασμό ορυχείων και η Aurora Geosciences εκτίμησε τους πόρους. Η канаδική εταιρεία SRK Consulting έχει συνάψει σύμβαση με την Ucore για να συγκεντρώσει τα βασικά δεδομένα και τα ποιοτικά αποτελέσματα από τις μελέτες μηχανικής που διεξήχθησαν το 2014, ώστε να εκπονήσει ένα επίσημο σχέδιο λειτουργίας για το έργο Bokan.

5.5. Ορυχείο Nolans

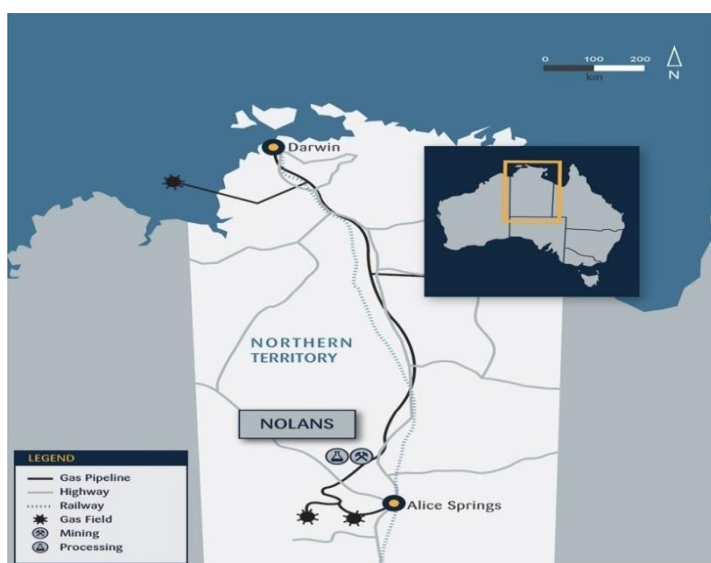
Το έργο σπανίων γαιών Nolans θα αποτελεί ένα ορυχείο υπαίθριας εκμετάλλευσης (open pit), που βρίσκεται υπό ανάπτυξη στη Βόρεια Επικράτεια της Αυστραλίας. Το ορυχείο Νεοδύμιο-Πρασινοδύμιο (NdPr) αναγνωρίζεται ως σημαντικό έργο από την κυβέρνηση της Βόρειας Επικράτειας. Η Arafura Resources είναι ιδιοκτήτης και

προγραμματιστής του έργου Nolans NdPr. Η Arafura Rare Earths, είναι θυγατρική Αυστραλιανής εταιρείας εξερεύνησης ορυκτών.

Η οριστική μελέτη σκοπιμότητας (DFS) για το έργο ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο του 2019, ενώ η τελική επενδυτική απόφαση πάρθηκε τα τέλη του 2020. Τον Ιούλιο του 2020, η Arafura εξασφάλισε τις μισθώσεις των μεταλλευμάτων για τα πρώτα 25 χρόνια, από την κυβέρνηση της Βόρειας Επικράτειας της Αυστραλίας, μετά την εκτέλεση μιας συμφωνίας εγγενούς ιδιοκτησίας (NTA) τον Ιούνιο του 2020.

Η διάρκεια ζωής του έργου αναμένεται να είναι 33 χρόνια, με συνολική παραγωγική ικανότητα έως και 330.000 t σπανίων γαιών τα όποια θα συγκεντρώνεται σε αποθέσεις κατά τη διάρκεια της ζωής του ορυχείου.

Το έργο Nolans rare earths αναμένεται να παρέχει έως και το ένα δέκατο της παγκόσμιας ζήτησης για οξείδιο NdPr, το οποίο χρησιμοποιείται σε μαγνήτες Νεοδυμίου (NdFeB) και αποτελεί βασικό στοιχείο σε προϊόντα τεχνολογίας πράσινης ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων φορητών ηλεκτρονικών συσκευών, ηλεκτρονικών οχημάτων, ανεμογεννητριών, αεροδιαστημικών προϊόντων και ιατρικού εξοπλισμού).



Η κατάθεση Nolans NdPr βρίσκεται στο Nolans Bore, περίπου 135 km βορειοδυτικά του Alice Springs στη Βόρεια Επικράτεια της Αυστραλίας. Θα είναι συνδεδεμένο με τον αυτοκινητόδρομο Stuart και τον σιδηρόδρομο Darwin-Adelaide. Το Nolans Bore βρίσκεται στην επαρχία Aileron της περιοχής Arunta.

Εικόνα 5.10. Τοποθεσία του ορυχείου Nolas και η κοινωνική σύνδεση του, πηγή: www.arultd.com

Το ορυχείο Nolans έχει συνολικά αποθέματα 29,5 εκατομμυρίων τόνων (Mt), συμπεριλαμβανομένων 5 Mt αποδεδειγμένων και 24,6 Mt πιθανών αποθεμάτων μεταλλεύματος. Ο εμπλουτισμός NdPr στα ορυκτά θα ανέρχεται περίπου 26,4%, ενώ οι αναλογίες του πεντοξειδίου του φωσφόρου (P_2O_5) και των συνολικών οξειδίων σπανίων γαιών (TREO) είναι 13% και 2,9% αντίστοιχα. Αρχικά, το ορυχείο Nolans αναμένεται να παράγει ετησίως περίπου 14.000 t ετησίως (tpy) ολικών οξειδίων σπανίων γαιών (TREO), συμπεριλαμβανομένων 3.600 tpy NdPr, καθώς και 110.000 tpy φωσφορικού οξέος ως υποπροϊόν.

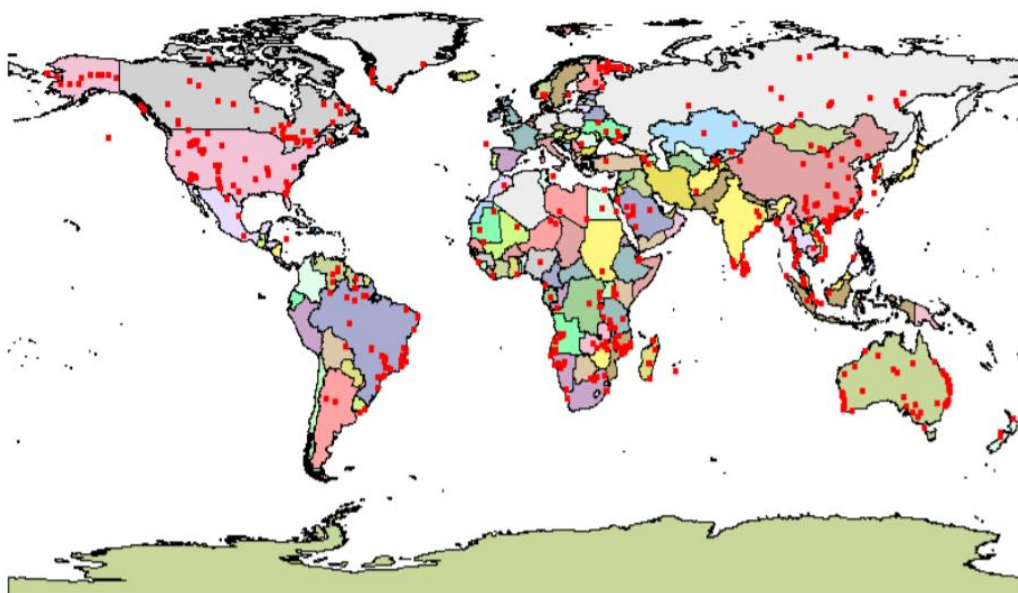
Το αλεσμένο μέταλλευμα θα υποστεί επεξεργασία (εμπλουτισμό) στο κοντινό εργοστάσιο επεξεργασίας, το οποίο βρίσκεται περίπου 8,5 km Νότια του ορυχείου. Το μέταλλευμα θα υποβληθεί σε σύνθλιψη και θραύση σε πρώτο στάδιο πριν περάσει από στη χημική επεξεργασία, ψήσιμο, έκπλυση του με νερό, καθίζηση και καθαρισμό για την παραγωγή συμπυκνωμάτων NdPr. Οι ακαθαρσίες που παράγονται κατά τη διαδικασία θα αποθεωθούν σε εγκατάσταση αποθήκευσης καταλοίπων.

Η μισθωμένη περιοχή θα περιλαμβάνει την περιοχή των ορυχείων, ένα εργοστάσιο επεξεργασίας με εγκαταστάσεις ωφέλειας, εξόρυξης και διαχωρισμού, εγκαταστάσεις αποθήκευσης αποβλήτων και ένα χωριό διαμονής για 400 άτομα. Ένας αγωγός πολτού θα συνδεθεί σε μια μονάδα επεξεργασίας χημικών, όπου θα παράγει ενδιάμεσα προϊόντα πλούσια σε σπάνιες γαίες. Θα δημιουργηθεί μια εγκατάσταση διαχείρισης αποβλήτων για τη διαχείριση των ροών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των πετρωμάτων από την εξόρυξη, απορριμμάτων και υπολειμμάτων χημικής επεξεργασίας που θα περιέχουν φωσφορικά άλατα, Θορίου και μικρές ποσότητες Ουρανίου. Ένα εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο φυσικό αέριο, το οποίο θα καλύψει τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας του ορυχείου και του χωριού διαμονής.

Η Hatch, μια εταιρεία μηχανικής με εμπειρία στους τομείς της ενέργειας, των μετάλλων, των υποδομών, των ψηφιακών και των επενδυτικών αγορών, ασχολήθηκε ως επικεφαλής υπεύθυνος μελέτης μηχανικής για το DFS (Depth-first search) του

έργου. Η Κορεατική εταιρεία χημικών κατασκευών OCI θα επιβλέπει τις εργασίες στο εργοστάσιο διαχωρισμού σπανίων γαιών σε μια κοινή επιχείρηση με την Arafura. Η Arafura συνεργάστηκε επίσης με την Bossong Engineering για την εκτέλεση πιλοτικού εργοστασίου μεγάλης κλίμακας. Η KBR, μαζί με τον υπεργολάβο Wave International, θα παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες διαχείρισης έργων για το έργο Nolans. Η USA Rare Earth προτάθηκε για την επεξεργασία και την επεξεργασία υψηλής καθαρότητας μεικτού προϊόντος μεσαίας βαριάς ανθρακικής σπάνιας γαίας από το κοιτάσμα Nolans.

Οι ανακαλύψεις των σπανίων γαιών συνεχίζονται με αδιάκοπους ρυθμούς, όμως η δυνατότητα αξιοποίησης των αποθεμάτων τους αντιμετωπίζει δυσκολίες ακόμη και σήμερα. Η δυνατότητα συλλογής REE είναι προβληματική καθώς παρόλο το μεγάλο αριθμό ανακαλύψεων των στοιχείων αυτό ανά το κόσμο (όπως φαίνεται στο παρακάτω χάρτη) είναι αντιοικονομικά προς την αξιοποίησή τους. Η αξιοποίησή τους οφείλεται στον όγκο των αποθεμάτων, στην θέση τους άλλα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορούν να επιφέρουν στις εκάστοτε γειτονικές και μη κοινωνίες.



Εικόνα 5.11. Περιοχές ανά το κόσμο που ανακαλύφθηκαν σπάνιες γαίες,
πηγή: www.irel.gov.in

6. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σπανίων γαιών

Οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εξόρυξη των σπανίων γαιών είναι ίδιες με αυτές των υπολοίπων εκμεταλλεύσεων. Με δεδομένο ότι οι σπάνιες γαίες είναι συνήθως υποπροϊόν της κύριας εκμετάλλευσης, και επιπλέον η ανάκτησή τους απαιτεί ειδική επεξεργασία είναι πιθανόν να προκύψουν πρόσθετα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η περιβαλλοντική διαχείριση της εξόρυξης και επεξεργασίας των σπανίων γαιών καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη στις περιπτώσεις όπου τα μεταλλεύματα εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις Ουρανίου (U), Θορίου (Th) και άλλων ραδιενεργών στοιχείων.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικές μέθοδοι μεταλλουργικής επεξεργασίας σπανίων γαιών καθώς και οι πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο από την εξόρυξη όσο και από την επεξεργασία

6.1 . Μεταλλουργική επεξεργασία

Όπως ήδη αναφέρθηκε οι σπάνιες γαίες εξορύσσονται συνήθως ως συμπαράγωγα προϊόντα ή υποπροϊόντα άλλων εκμεταλλεύσεων. Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί εξαιρετικά αποδοτικές τεχνολογίες διαχωρισμού για την παραγωγή υψηλής καθαρότητας REE. Τα ανθρακικά άλατα που φέρουν REE (μπαστναζίτης) και τα φωσφορικά άλατα (μοναζίτης, ξενότιμο) υποβάλλονται σε εμπορική επεξεργασία, ενώ οι τεχνολογίες επεξεργασίας για πυριτικά που φέρουν REE απαιτούν πρόσθετες επενδύσεις έρευνας και ανάπτυξης (E&A) για να τις εμπορευματοποιήσουν (Paulick and Machacek, 2017). Οι Gupta και Krishnamurthy (2005) παρείχαν μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της σύγχρονης εξορυκτικής μεταλλουργίας των REE. Σύμφωνα με την έκθεση IBM (2018) για την IndianRareEarthLimited (IREL), η Κεράλα (πόλη της Ινδίας που εξάγονται σπάνιες γαίες) εξάγει κυρίως στοιχεία από μοναζίτη. Δύο από τα έργα της IREL βρίσκονται στην Aluva και Chavara στην πολιτεία της Κεράλα. Τα άλλα δύο βρίσκονται στο Manavalakurichi στο Ταμίλ Ναντού και στο Chatrapur στην Ορίσα. Η εκχύλιση των REE συνήθως περιλαμβάνει τη διάλυση του μεταλλεύματος χρησιμοποιώντας όξινα ή αλκαλικά διαλύματα. Ανάλογα με την ορυκτολογία, το στάδιο εκχύλισης συχνά περιλαμβάνει το ψήσιμο

του μεταλλεύματος σπανίων γαιών στους 400–500 °C σε πυκνό θειικό οξύ για την απομάκρυνση του Φθορίου και του CO₂, καθώς και την αλλαγή της φάσης ορυκτών ώστε να γίνει πιο υδατοδιαλυτό. Γενικά οι τεχνικές του διαχωρισμού όπως εκχύλιση με διαλύτη, η ανταλλαγή ιόντων και η καταβύθιση χρησιμοποιούνται συχνά για την ανάκτηση των REE από διαλύματα έκπλυσης οξέος ή αλκαλίου. Η εκχύλιση με διαλύτη είναι γενικά αποδεκτή ως η καταλληλότερη εμπορική τεχνολογία για το διαχωρισμό των REE καθώς είναι η πιο εύκολη η ανάκτηση μεγαλύτερων ποσοτήτων. Παραδείγματος χάριν, ο αλεσμένος μοναζίτης υποβάλλεται σε επεξεργασία με καυστική σόδα για την παραγωγή φωσφορικού τρινατρίου (TSP) και μικτού πολτού υδροξειδίου. Αυτός ο πολτός χρησιμοποιείται για την παραγωγή διαφορετικών ενώσεων σπανίων γαιών. Οι Kumari et.al., (2015) κάνουν μια ανασκόπηση των εμπορικών διεργασιών που βασίζονται σε πυρο-υδροηλεκτρικές ή υβριδικές τεχνικές, καθώς και συστηματική έρευνα για την ανάπτυξη διεργασιών για την ανάκτηση REE από το μοναζίτη. Το λαμβανόμενο συμπύκνωμα μοναζίτη υποβάλλεται σε επεξεργασία υπό διαφορετικές συνθήκες χρόνου, θερμοκρασίας και συμπύκνωσης χρησιμοποιώντας όξινο ή αλκαλικό διάλυμα. Είναι συνήθως σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας θερμική κατεργασία που ακολουθείται από ανάκτηση REE υπό βελτιστοποιημένες συνθήκες έκπλυσης και την εκχύλιση τους μέσω του διαλύτη, Ο Battsengel et.al., (2018) ανέπτυξε μια μέθοδο διαχωρισμού των LREE και HREE σε απάτιτη από διάλυμα πλήρους διαλύματος θειικού οξέος με χρήση τεχνικών εκχύλισης και αφαίρεσης διαλύτη. Επί του παρόντος, η κύρια διαδικασία για την ανάκτηση του REE από τον απάτιτη θα περιλαμβάνει την έκπλυση με νιτρικό οξύ . Αφού πραγματοποιηθεί έκπλυση νιτρικού οξέος, το REE θα μπορούσε τότε να καταβυθιστεί μέσω της προσθήκης αμμωνίας (Sandstrom and Fredriksson, 2012).

Τα τελευταία χρόνια, μια επαναστατική τεχνολογία μοριακής αναγνώρισης (MRT) που ονομάζεται SuperLig[®], χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τον επιλεκτικό διαχωρισμό και ανάκτηση μεμονωμένων REE (Izatt et al., 2017). Το MRT είναι μια μέθοδος πράσινης χημείας για διαχωρισμούς μετάλλων σε μοριακό επίπεδο χρησιμοποιώντας αρχές νανοχημείας. Το PLS που προέρχεται από τη διάλυση μεταλλεύματος υποβάλλεται σε επεξεργασία από το SuperLig MRT Plant, αρχικά για να διαχωρίσει και τις 16 σπάνιες γαίες από το υπόλοιπο μέταλλευμα. Ακολουθεί ο διαχωρισμός μεμονωμένων REE με ρητίνες SuperLig, αποτελούμενες από

επιλεκτικό μέταλλο υψηλής πρόσδεσης συνδεδεμένο μέσω μια πρόσδεση σε σιλικάζελ ή άλλο υπόστρωμα. Ο στόχος είναι οι REE να δεσμευτούν επιλεκτικά στη SuperLig ρητίνη, με το εναπομένον διάλυμα τροφοδοσίας να εκχυλίζεται. Μετά την πλύση της στήλης, το στοιχείο που δεσμεύεται με ρητίνη εκλύεται και ανακτάται σε συμπτυκνωμένη και καθαρή μορφή. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η διαδικασία MRT διαθέτει ταχεία κινητική πρόσδεσης και απελευθέρωσης μετάλλου-συνδετήρα, απλή χημική έκλυση, μη χρήση σκληρών χημικών, αντιδραστηρίων, διαλυτών, ικανότητα ανάκτησης σπανίων γαιών που υπάρχει σε διαλύματα τροφοδοσίας σε $\mu\text{g/mL}$ ή χαμηλότερα επίπεδα και ελάχιστη παραγωγή αποβλήτων (Izatt et al., 2018). Πιθανές εφαρμογές περιλαμβάνουν ανάκτηση REE από πρωτογενές μεταλλεύματα, απορρίμματα, τέφρα άνθρακα και χρησιμοποιημένη βιομηχανική πρώτη ύλη όπως μόνιμοι μαγνήτες, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και συστήματα φωτισμού LED (Izatt et al., 2018).

6.2. Ταξινόμηση ραδιενεργών και μη ραδιενεργών απόβλητων

Τα κράτη μέλη και η πυρηνική βιομηχανία για επικοινωνιακούς σκοπούς σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, καθώς και για ευκολότερη διαχείριση των σχετικών πληροφοριών πρέπει υιοθετήσουν ένα κοινό σύστημα ταξινόμησης των ραδιενεργών αποβλήτων. Το εν λόγω σύστημα ταξινόμησης χρησιμοποιείται για να ενημερώνονται οι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί και μη κυβερνητικοί οργανισμοί γύρω από τα στερεά ραδιενεργά απόβλητα. Η κοινή γνώμη αντικαθιστά ειδικά τεχνικά κριτήρια που απαιτούνται για λόγους ασφάλειας. Σύμφωνα με σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στο χρονικό διάστημα μέχρι την 1^η Ιανουαρίου 2002, τα κράτη μέλη της μπορούν να το χρησιμοποιούν το παρακάτω σύστημα ταξινόμησης παράλληλα με τα ισχύοντα εθνικά τους συστήματα. Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση της προτεινόμενης ταξινόμησης:

1. Ραδιενεργά απόβλητα που αποθηκεύονται προσωρινά. Πρόκειται για ραδιενεργά απόβλητα που θα εξακολουθήσουν να διασπώνται κατά τη διάρκεια της προσωρινής αποθήκευσης και στη συνέχεια θα είναι ενδεχομένως δυνατή η

διαχείρισή τους εκτός του προβλεπόμενου συστήματος ελέγχου, υπό τον όρο της συμμόρφωσης με τα επιτρεπτά όρια αποδέσμευσης.

2. 2.1. Απόβλητα χαμηλής και μέσης ραδιενέργειας (LILW). Απόβλητα των οποίων η συγκέντρωση σε ραδιονουκλεΐδια είναι τέτοια ώστε η θερμότητα που παράγεται στο πλαίσιο της διαδικασίας οριστικής διάθεσης να είναι αρκετά χαμηλή. Οι αποδεκτές τιμές παραγομένης θερμότητας συναρτώνται με την εκάστοτε τοποθεσία και με τις αξιολογήσεις ασφάλειας.

2.2. Απόβλητα βραχείας διάρκειας ζωής (LILW SL). Στην κατηγορία αυτή υπάγονται ραδιενεργά απόβλητα με ραδιονουκλεΐδια των οποίων ο χρόνος υποδιπλασιασμού είναι μικρότερος ή ίσος του χρόνου υποδιπλασιασμού του Cs-137 και του Sr-90 (30 έτη περίπου) με χαμηλή συγκέντρωση σε μακράς διάρκειας ζωής Ραδιονουκλεΐδια ακτινοβολίας α (άλφα) (η συγκέντρωση αυτή αντιστοιχεί σε 4 000 Bq/g για κάθε συσκευασία αποβλήτων και σε γενικό μέσο όρο 400 Bq/g για το συνολικό όγκο αποβλήτων).

2.3. Απόβλητα μακράς διάρκειας ζωής (LILW LL). Τα ραδιονουκλεΐδια μακράς διάρκειας ζωής, εκπέμπουν σωματίδια άλφα των οποίων η συγκέντρωση υπερβαίνει τις οριακές τιμές που ισχύουν για απόβλητα βραχείας διάρκειας ζωής.

3. Απόβλητα υψηλής ραδιενέργειας. Απόβλητα των οποίων η συγκέντρωση σε ραδιονουκλεΐδια είναι τέτοια ώστε η θερμότητα που παράγουν να λαμβάνεται υπόψη για τους σκοπούς της αποθήκευσης και διάθεσης. (Η ποσότητα παραγόμενης θερμότητας είναι συνάρτηση της εκάστοτε τοποθεσίας, τα δε απόβλητα αυτής της κατηγορίας προέρχονται κυρίως από επεξεργασία ή μορφοποίηση του αναλωθέντος πυρηνικού καυσίμου^[4]).

[4]. Η παρούσα σύσταση απευθύνεται στα κράτη μέλη, Βρυξέλλες, 15 Σεπτεμβρίου 1999. Για την επιτροπή Ritt BJERREGAARD μέλος της επιτροπής

6.2. Αέρια ρύπανση

Η αιρούμενη σκόνη που προέρχεται από το χώρο της εκμετάλλευσης, μπορεί και μεταφέρεται με τον αέρα σε ακτίνα εκατοντάδων μέτρων μακριά από το ορυχείο. Η σκόνη από τις σπάνιες γαίες είναι υπεύθυνη για την ρύπανση του περιβάλλοντος αλλά και την μόλυνση του οικοσυστήματος. Οι κύριες πηγές της σκόνης προέρχονται από εκτεθειμένες εκτάσεις από χωματόδρομους εντός του εργοταξίου, από σωρούς απόθεσης υλικών και από τα σημεία των εργασιών, ειδικά όπου γίνεται χρήση μηχανημάτων ή ανατινάξεις. Η κυκλοφορία των οχημάτων συμβάλει στην μεταφορά της σκόνης σε μεγάλες αποστάσεις.

Για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης θα πρέπει να γίνεται συνεχής έλεγχος και να υπάρχουν προγράμματα παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο προσεγγιστικός δείκτης των εκπομπών για την εξορυκτικές δραστηριότητες είναι:

$$E = 2,69 \text{ Mg / εκτάριο / μήνα δραστηριότητας}$$

Αυτό σημαίνει ότι σε συνδυασμό και με την ήδη υπάρχουσα σκόνη, το όριο ξεπερνιέται κατά πολύ. Για την μείωση των αερίων ρύπων συνιστάται το στρώσιμο των δρόμων κυκλοφορίας των οχημάτων. Το συγκεκριμένο μέτρο είναι άκρως αποτελεσματικό όμως έχει υψηλό κόστος. Αντιθέτως η διαβροχή του δρόμου και των εγκαταστάσεων με νερό ή χημικά έχει χαμηλό κόστος, είναι αποτελεσματική όμως απαιτεί συνεχή συντήρηση. Η μείωση της σκόνης επιτυγχάνεται επίσης με την ελάττωση και των περιορισμό της κίνησης. Συνήθως επιτυγχάνεται με την επιβολή μείωσης της ταχύτητας και της άσκοπης κυκλοφορίας των οχημάτων εντός και εκτός του εργοταξίου. Τέλος μεταφορά σκόνης από τους σωρούς ελαχιστοποιείται με την διατήρηση της υγρασίας του υλικού (κατάβρεγμα με νερό ή χημικά), και με κάλυψη των μη χρησιμοποιημένων σωρών είτε.

6.3. Στερεά απόβλητα

Η δημιουργία των στερεών απόβλητων μιας μεταλλευτικής δραστηριότητας δεν περιορίζεται μόνο στο χώρο των εργασιών της. Τα στερεά απόβλητα αφορούν το σύνολο των διεργασιών που απαιτούνται από την εξόρυξη μέχρι τη δημιουργία του τελικού προϊόντος. Οι σπάνιες γαίες ακολουθούν κάποια συγκεκριμένα στάδια επεξεργασίας πριν (εμπλουτισμός, μεταλλουργία κλπ.) για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Απόβλητα εμφανίζονται κατά την εξόρυξη του μεταλλεύματος, τον εμπλουτισμό του ορυκτού, την μεταλλουργία στοιχείων σπανίων γαιών και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα τα στερεά απόβλητα προέρχονται από:

- Υπερκείμενα εκμετάλλευσης
- Στείρα εκμετάλλευσης
- Τέλματα εμπλουτισμού (συνήθως επίπλευσης)
- Στέρεα άλλων μεθόδων εμπλουτισμού
- Σκουριές μεταλλουργίας
- Ιζήματα μεταλλουργίας
- Ιλύς από εξουδετερώσεις υγρών αποβλήτων

6.4. Υγρά απόβλητα

Η επεξεργασία σπανίων γαιών αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες πηγές υγρών αποβλήτων που δημιουργούνται στην εξορυκτική βιομηχανία. Ο εμπλουτισμός των ορυκτών πραγματοποιείται για την απομόνωση των σημαντικών στοιχείων, γίνεται μέσω του νερού αλλά και πολλών διαφορετικών χημικών ενώσεων, ανάλογα πάντα με του στοιχείου. Γενικά τα υγρά απόβλητα στην μεταλλευτική βιομηχανία

απορρέουν από τις 3 διαφορετικές φάσεις εξόρυξης και επεξεργασίας του υλικού. Σε κάθε φάση έχουμε και τα αντίστοιχα υγρά απόβλητα, όπου είναι τα έξης:

Μεταλλευτική Βιομηχανία

- Όξινα νερά μεταλλείων
- Νερά έκλυσης μηχανημάτων
- Νερά κατά την εξόρυξη (ψύξη μηχανημάτων)

Βιομηχανία εμπλουτισμού

- Υδατική φάση τελμάτων
- Απορροές νερών από φυσικές ή τεχνητές λίμνες καθίζησης διαλυμάτων υδρομεταλλουργίας
- Υγρά που χρησιμοποιούνται κατά τον διαχωρισμό

Μεταλλουργική βιομηχανία

- Ύδατα από ψύξεις ή πλύσεις
- Υδατικά διαλύματα υδρομεταλλουργίας

Στο σύνολό τους τα υγρά απόβλητα μπορεί να περιλαμβάνουν αιωρούμενα σωματίδια τα οποία προέρχονται από το εξορυγμένο μέταλλευμα. Επιπλέον το στάδιο του εμπλουτισμού και η διαδικασία του διαχωρισμού με την μέθοδο επίπλευσης δημιουργεί υγρά απόβλητα με ανόργανες διαλυμένες ουσίες. Στις ουσίες αυτές περιλαμβάνονται τα βαρέα μέταλλα, ο Σίδηρος (Fe), ο Ψευδάργυρος (Zn), το Μαγγάνιο (Mn), ο Μόλυβδος (Pb), το Αρσενικό (As), το Χρώμιο (Cr) και αρκετά οξείδια μετάλλων. Μερικές φορές και το νερό με διαφορετικό δείκτη pH ή υψηλή θερμοκρασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως επικίνδυνο υγρό απόβλητο για το περιβάλλον. Οι διαφορετικές συνθήκες του νερού επηρεάζουν κατά πολύ τα ύδατα τα οποία χρησιμοποιούνται από τους οργανισμούς.

7. Οικοσύστημα και σπάνιες γαίες

7.1. Φαινόμενα μεγάλων διαρροών από ραδιενεργά στοιχεία

Το μεγαλύτερο ίσως περιβαλλοντικό πρόβλημα που δημιουργείται κατά την διάρκεια εξόρυξης και επεξεργασίας των σπανίων γαιών είναι ο αυξημένος κίνδυνος διαφυγής περιβαλλοντικών ρύπων και ειδικότερα των ραδιονουκλεϊδίων. Οι σημαντικότερες περιπτώσεις διαφυγής ραδιενεργών στοιχείων εμφανίζονται στην Ασία, με τα παραδείγματα της Κίνας και της Μαλαισίας να ξεχωρίζουν μεταξύ διαφόρων περιπτώσεων.

7.1.1. Κίνα

Στο εσωτερικό της Μογγολίας της Κίνας, η πόλη του Baotou αποτελεί την μεγαλύτερη παγκοσμίως πηγή σπανίων γαιών. Στο Baotou γίνεται η μεταφορά μεταλλευμάτων για επεξεργασία από το ορυχείο του Bayan Obo. Τα ποσοστά των συγκεντρώσεων των σπανίων γαιών στα μεταλλεύματα δεν εμφανίζουν μεγάλα νούμερα, αντίθετος κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Για την απομάκρυνση και την συλλογή των σπανίων γαιών από τα ορυκτά, πραγματοποιείται εμπλουτισμός των ορυκτών κυρίως με υδρομεταλλουργικές μεθόδους διαχωρισμού αλλά και με την διαδικασία της επίπλευσης.

Ύστερα από την επεξεργασία των μεταλλευμάτων τα υγρά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την υδρομεταλλουργική διαδικασία καταλήγουν στο έδαφος, σε ποτάμια και σε λίμνες. Εντός του νερού συσσωρεύονται πολλές τοξικές ουσίες σε υψηλές συγκεντρώσεις και μεταξύ άλλων και το ραδιενεργό Θόριο.



Εικόνα 7.1. Οι σωλήνες και τα λύματα που καταλήγουν στην τεχνητή λίμνη Baotou, πηγή: https://www.youtube.com/watch?v=t_UdqZdFr-w&feature=emb_title

Η τεχνητή λίμνη που σχηματίστηκε στην πόλη Baotou φιλοξενεί τις τοξικές ουσίες που καταλήγουν από την επεξεργασία των σπανίων γαιών της μεταλλευτικής περιοχής του Bayan Obo. Δεκάδες σωλήνες ευθυγραμμίζονται στην ακτή της λίμνης, βγάζοντας ένα χείμαρρο από παχιά σε ρευστότητα, μαύρα, χημικά απόβλητα και ραδιενεργές ουσίες όπως το Θόριο και το Ουράνιο.



Εικόνα 7.2. Η τεχνητή λίμνη στο Baotou από ψηλά, πηγή: googleearth

Η έκταση επιφανείας της λίμνης εναπόθεσης χημικών αποβλήτων εκτείνεται σε 11 km². Έπειτα από έρευνες που έφεραν στην επιφάνεια οι τοπικές αρχές, αναφέρεται ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης του ραδιενεργού Θορίου στην περιοχή κοντά στην

συγκεκριμένη λίμνη είναι κατά 26 φορές υψηλότερα σε σύγκριση με άλλες περιοχές της πόλης Baotou. Σημειώνεται ότι από την λίμνη στην συνέχεια τα ραδιενεργά κατάλοιπα εισρέουν στο υπέδαφος και ανακατεύονται με τα υπόγεια ύδατα, έτσι έχουν την δυνατότητα να μεταφερθούν και σε γειτονικές περιοχές.

Το 1957, η περιοχή στην οποία εδράζεται μέχρι σήμερα η μεταλλευτική πόλη Baotou, κατοικούνταν αποκλειστικά από αγρότες και κτηνοτρόφους. Μετά την έναρξη της μεταλλευτικής δραστηριότητας και το πέρασμα των ετών εμφανίστηκαν αρκετά προβλήματα. Στα μέσα της δεκαετίας του 80' οι καλλιέργειες άρχισαν να αποτυγχάνουν, ενώ στην συνέχεια αρκετά ζώα πέθαιναν πρόωρα λόγω της έκθεσης τους σε μολυσμένο έδαφος, αέρα και ρυπογόνα ατμόσφαιρα. Εν συνεχεία εμφάνισαν σοβαρά προβλήματα οι κάτοικοι της περιοχής, με αποτέλεσμα να αναγκαστούν να εγκαταλείψουν την περιοχή.

Οι αρμόδιες Κινέζικες αρχές που είναι υπεύθυνες για τις σπάνιες γαίες, αναφέρουν ότι στην περιοχή Baotou απελευθερώνονται έως 12.000 m³ αέριοι ρύποι και 2.000 t μολυσμένες εκροές. Χαρακτηριστικά στην Βόρεια Κίνα (Μογγολία) οι ρύποι αυτοί περιέχουν ίχνη ραδιενεργού Θωρίου. Επιπλέον αναφέρεται ότι 10 εκατομμύρια λίτρα μολυσμένου νερού απελευθερώνονται κάθε χρόνο από τα εργοστάσια επεξεργασίας σπανίων γαιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εμφάνιση αποβλήτων εντός του Κίτρινου ποταμού, ο οποίος διασχίζει την περιοχή Baotou. Ο Κίτρινος ποταμός είναι επίσης πολύ σημαντικός για το υδρευτικό σύστημα της πρωτεύουσας της Κίνας του Πεκίνου άλλα και άλλων μεγάλων αστικών κέντρων.

Μια από τις λύσεις που σκέφτηκε η κινέζικη βιομηχανία των σπανίων γαιών για την μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος ήταν η μέθοδος της επί τόπου επεξεργασίας των προϊόντων, με την προοπτική ότι αυτή η μέθοδος θεωρούνταν λιγότερη επιβλαβής για το περιβάλλον. Η εφαρμογή της όμως κατάληξε να είναι καταστροφική για τις σοδειές και τους υδρόβιους οργανισμούς στην ευρύτερη περιοχή του Baotou.

Η τεράστια μεταλλευτική παραγωγή σπανίων γαιών της Κίνας επιφέρει μεγάλα σε έκταση περιβαλλοντικά προβλήματα και επιβαρύνει τους οργανισμούς. Οι περιβαλλοντικοί όροι και περιορισμοί για τις εξορύξεις σπανίων γαιών τηρούνται σε πολύ μικρό βαθμό στην Κίνα. Αρκετές κινεζικές εταιρίες προσπάθησαν να καινοτομήσουν στις τεχνολογίες τους για ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον αποτέλεσμα. Παρόλα αυτά όμως πολλές είναι αυτές που πορεύονται ακόμη με το καθιερωμένο τρόπο εξόρυξης και επεξεργασίας των μεταλλευμάτων. Όλα αυτά και σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό παράνομων ορυχείων, κρατούν χαμηλά τα περιβαλλοντικά στάνταρ της Κίνας. Συνεπώς η κατάσταση παραμένει ακόμη επικίνδυνη για τα εδάφη και τον πληθυσμό της.

7.1.2. Μαλαισία

Το 1991 οι αρμόδιες αρχές για την ατομική ενέργεια της Μαλαισίας παρουσίασαν μια μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τουλάχιστον 29 ενεργά προγράμματα εξόρυξης και επεξεργασίας σπανίων γαιών. Οι λόγοι που οδήγησαν στην διεξαγωγή αυτών των μελετών ήταν πως υπήρχαν υποψίες ότι μεγάλος αριθμός εργαζομένων σε περιοχές εξορύξεων εισέπνεαν ανησυχητικά ποσά από ραδιενεργή σκόνη, η οποία αποτελούταν από στοιχεία Θορίου και Ροδανιού. Οι συνολικές ποσότητες ακτινοβολίας που εκτίθεντο οι εργάτες και το κοινό υπολογίστηκαν ότι είναι μεγαλύτερες από το επιτρεπόμενο όριο του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.), δηλαδή 20 mSv/y έναντι 1 mSv/y. Ενώ σε συνδυασμό με τις κακές συνθήκες υγιεινής και προστασίας των εργαζομένων, παρουσιάστηκαν πολλά είδη καρκινωμάτων όπως επίσης παρατηρήθηκε και συχνή εμφάνιση χρωματοσωμάτικων ανωμαλιών.

Ο αριθμός των εργοστασίων που έχουν κτιστεί πολύ κοντά σε κατοικημένες περιοχές της Μαλαισίας είναι αυξημένος και συχνά αγγίζει την απόσταση των 20 m. Είναι προφανές και αναπόφευκτο αυτές οι περιοχές να μην είναι ασφαλείς και να εκτίθενται σε ακτινοβολία και στην ραδιενεργή σκόνη. Υστέρα από έντονες διαμαρτυρίες έκλεισε το 1992 και το τελευταίο εργοστάσιο επεξεργασία σπανίων γαιών στο Βόρειο

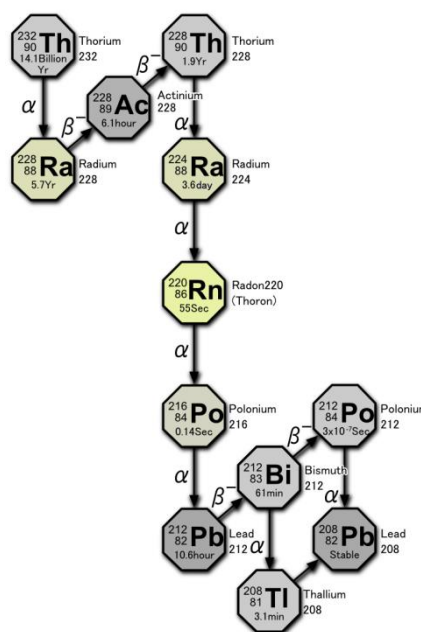
κρατίδιο Perac, καθώς θεωρήθηκε αίτιο για την εμφάνιση συγγενών ανωμαλιών λευχαιμίας σε κατοίκους της ευρύτερης περιοχής.

Σήμερα στη Μαλαισία εφαρμόζεται το μεγαλύτερο πρόγραμμα αποκατάστασης της ραδιενεργούς ρύπανσης σε ολόκληρη της Ασία, εκ μέρους της Αυστραλίας. Ενώ ταυτόχρονα τρέχει ένα νέο κέντρο επεξεργασίας σπανίων γαιών το οποίο θα δουλεύει από τα ορυκτά του ορυχείου Mount Weld της Δυτικής Αυστραλίας. Η μεταφορά των εμπορευμάτων στην Μαλαισία αναμένεται να πραγματοποιείται μέσω πλοίων.

7.2. Αλληλεπίδραση Θορίου και Ουρανίου με τον άνθρωπο και το περιβάλλον

Το Θόριο (Th) από την φύση του δεν αποτελεί ένα χημικό στοιχείο το οποίο προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον και του οργανισμούς. Το Θόριο το συναντάμε αρχικά με μορφή Th 232 στο περιβάλλον. Στην συνέχεια υφίσταται διάσπαση εκπέμποντας ένα σωματίδιο α ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται και ακτινοβολία γ, με αποτέλεσμα το σχηματισμό Ραδίου (Ra) 226. Η διαδικασία εκπομπής της ακτινοβολίας όμως δεν σταματά μόνο στην γέννηση ενός νέου ραδιονουκλεϊδίου, αλλά συνεχίζεται μέχρι και το σχηματισμό μολύβδου (Pb) 206.

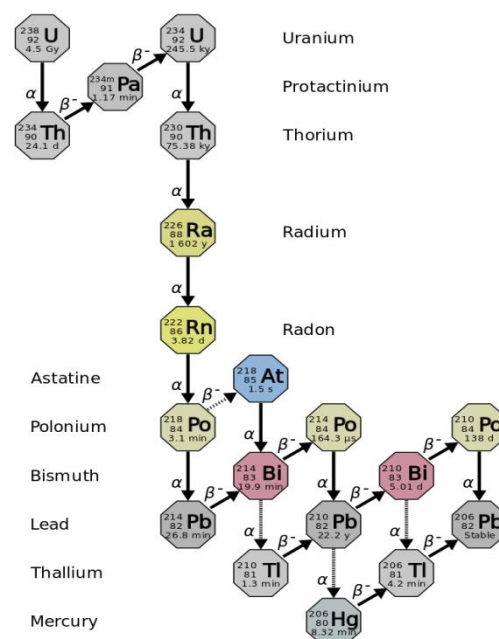
Το στοιχείο του Θορίου έχει χρόνο ζωής 14 δισεκατομμύρια χρόνια. Στο περιβάλλον όμως δεν υπάρχει μόνο το Θόριο 232, συναντάμε επίσης το Θόριο 230 και το Θόριο 228, τα οποία κατά την διαδικασία διασπάσης τους εκπέμπουν ακτινοβολία α μαζί με ακτινοβολία γ.



Εικόνα 7.3.
Διάσπαση Θορίου
232 μέχρι Μόλυβδο
208, πηγή:
www.wikimedia.org

Η ύπαρξη του Θορίου στο περιβάλλον δεν συνεπάγεται και την εντατική επαφή του με τον άνθρωπο. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στις περιπτώσεις όπου συμβαίνει αυτό επιτυγχάνεται μέσω του νερού, του αέρα αλλά και της τροφής. Η έκθεση των ανθρώπων σε υψηλές συγκεντρώσεις Θορίου γίνεται μόνο στην περίπτωση όπου ζουν ή εργάζονται κοντά σε περιοχές που πραγματοποιούνται μεταλλευτικές δραστηριότητες. Η είσοδος του Θορίου στον ανθρώπινο οργανισμό γίνεται κυρίως μέσω της αναπνευστικής οδού, ενώ το χρονικό διάστημα που παραμένει στους πνεύμονες εξαρτάται από τη χημική του μορφή. Στην περίπτωση εισαγωγής του στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω του φαγητού (κατάποση), το Θόριο τυπικά θα αποβληθεί με την διαδικασία της πέψης. Ωστόσο, το Θόριο παραμένει στο ανθρώπινο σώμα σε ένα μικρό ποσοστό και εισέρχεται στην ροή του αίματος. Στην περίπτωση της παραμονής τους στον ανθρώπινο οργανισμό εναποτίθεται στα οστά, κάτι που μπορεί να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η μακροχρόνια έκθεση ακτινοβολίας είναι ο κύριος κίνδυνος στον άνθρωπο και επιφέρει την δημιουργία καρκίνου ή μεταλλαγμένων απογόνων. Σύμφωνα με έρευνες η συνεχής και εκτεταμένη εισπνοή αέρα με ποσότητες μικροσωματιδίων Θορίου αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου στο πάγκρεας και στους πνεύμονες, ενώ η εμφάνιση καρκίνου και στα οστά είναι αυξημένη λόγω της εναπόθεσής του σε αυτά.

Η ύπαρξη του Θορίου στην φύση συνεπάγεται αρκετές φορές την συνύπαρξη και του Ουρανίου, ενός επίσης ραδιενεργού χημικού στοιχείου. Το Ουράνιο συναντάται στην φύση σε τρία ραδιενεργά ισότοπα το U 234, το U235 και το U 238. Καθώς το Ουράνιο διασπάται, εκπέμπεται ακτινοβολία α και σε μικρότερη ισχύ ακτινοβολία γ.



Εικόνα 7.4. Διάσπαση Ουρανίου σε σταθερά στοιχεία, πηγή: noic.com.br

Σημειώνεται ότι το πιο εμπλουτισμένο ισότοπο του U 238 γεννά ραδιονουκλεΐδια όπως το Ra 226 και Ra 222. Όλος αυτός ο κύκλος και οι εμφανίσεις ραδιονουκλεΐδιων σταματούν μόνο όταν σχηματίζεται ένα σταθερό στοιχείο.

Όπως στην περίπτωση του Θορίου έτσι και στην περίπτωση του Ουρανίου, οι άνθρωποι οι οποίοι δραστηριοποιούνται στις περιοχές που υπάρχει σχετική μεταλλευτική δραστηριότητα, μολύνονται μέσω του περιβάλλοντος (αέρα και νερό). Αναφέρεται πως και το Ουράνιο εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα μέσω της αναπνευστικής οδού, από τις εκδορές του δέρματος καθώς επίσης μέσω της τροφής και του νερού. Η πέψη είναι αυτή η λειτουργία που θα απομακρύνει το μεγαλύτερο ποσοστό Ουρανίου από τον ανθρώπινο οργανισμό, παρόλα αυτά το υπολειπόμενο θα καταλήξει στο κυκλοφορακό σύστημα. Μεγάλο μέρος από αυτό θα αποβληθεί τις επόμενες ημέρες, όμως το εναπομένον καταλήγει στα οστά και παραμένει για χρόνια. Το Ουράνιο αυτό συνδέεται με την εμφάνιση καρκίνου άλλα και προβλημάτων στο ήπαρ.

Η δράση και η μόλυνση από τα ραδιονουκλεΐδια Θορίου και Ουρανίου, δεν σταματά μόνο στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά επηρεάζει την χλωρίδα και την υπόλοιπη πανίδα που εκτείνεται στην μεταλλευτική περιοχή των σπανίων γαιών. Η έκθεση των φυτών και των ζώων σε συνεχή ιονίζουσα ακτινοβολία ευθύνεται για αρκετές μολύνσεις, οι οποίες οδηγούν στα παρακάτω αποτελέσματα:

- i. Ανάπτυξη καρκίνων, καρκινικών γονιδιωμάτων και γαμετών, παρόμοιο με αυτών που εμφανίζονται στον άνθρωπο.
- ii. Θνησιμότητα και αύξηση κίνδυνου υγείας.
- iii. Αλλαγή στο γονιδίωμα μέσω της βλάβης και της επανακωδικοποίησης στο DNA και στο RNA των κυττάρων.
- iv. Χρωμασωμάτικες ανωμαλίες που ορίζονται ως οπτικά παρατηρήσιμες μορφολογικές αλλαγές.

- v. Μείωση του πληθυσμού και λόγω προώρων θανάτων και λόγω γαμετών ανίκανα να γονιμοποιήσουν.
- vi. Μειωμένη βλάστηση και γέννηση νέας χλωρίδας.

7.3. Επιδημιολογικά στοιχεία σε σχέση με τις σπάνιες γαίες

Τα βασικά πρότυπα ασφαλείας από την Ευρωπαϊκή Ένωση αναφέρονται στα όρια για την προστασία των εργαζομένων και του κοινού που εκτίθενται στην ακτινοβολία. Ως εκτεθειμένος καλείται το πρόσωπο που εργάζεται και φέρεται να έρχεται σε επαφή με την ακτινοβολία και καθιστάτε αναγκαία η πρόληψη και η προστασία του. Οι κανόνες ασφαλείας και υγείας της Ε.Ε. περιλαμβάνουν συγκεκριμένα όρια δόσεων σε μεμονωμένα μέλη του κοινού και των εργαζομένων. Ο μέσος όρος της ενεργειακής δόσης για μέλη του κοινού είναι 1 mSv^[3]. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις επιτρέπεται υψηλότερη τιμή ενεργού δόσης για ένα και μοναδικό έτος, τελώντας την προϋπόθεση ότι ο μέσος όρος των πέντε προηγούμενων ετών δεν υπερβαίνει το 1 mSv. Τα όρια αυτά συνδυάζουν επίσης ένα όριο ισοδύναμης δόσης για τον φακό του οφθαλμού που είναι 15 mSv και για το δέρμα ανέρχεται στα 50 mSv ανεξάρτητα από την εκτεθειμένη περιοχή. Ανεξάρτητα από το είδος της εξορυκτικής δραστηριότητας, οι εταιρίες πρέπει να λαμβάνουν τακτικά μετρήσεις και να καταγράφονται σε αρχείο το οποίο θα ελέγχεται από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Το αποτέλεσμα των συνεχών ελέγχων έχουν σαν στόχο την πρόληψη της επιβάρυνσης της υγείας των εργαζομένων και κατ' επέκταση των κατοίκων που εκτείνονται στην ακτίνα περιοχής κοντά στο εκάστοτε μεταλλείο.

Μια επιδημιολογική μελέτη πραγματοποιήθηκε για τις ελαφριές σπάνιες γαίες (HREE) στην υγεία παιδιών σε ηλικίες 7 – 10 ετών στις περιοχές Xunwucountry και Jiangxi στην Κίνα (Fanet.al, 2004). Στη μεταλλευτική περιοχή των σπανίων γαιών η συγκέντρωση HREE στο αίμα ήταν αισθητά υψηλότερη 2,1 +/- 0,88 ngg⁻¹, συγκριτικά με την ευρύτερη περιοχή ελέγχου (περιοχή που δεν υπάρχει μεταλλευτική δραστηριότητα) 1,26 +/- 1,35 ngg⁻¹. Επίσης αναλύθηκε και το σκορ IQ, το οποίο ήταν σε μεγάλο βαθμό χαμηλότερο στην ομάδα ανθρώπων που εκτίθεται σε ρύπους σε

σύγκριση με IQ των ατόμων της ευρύτερης περιοχής ελέγχου που δεν έχει υποστεί έκθεση. Ένα μικρό ποσοστό υψηλών IQ παρουσιάστηκε στα παιδιά τα όποια είχαν εκτεθεί, ενώ μεγαλύτερο ήταν το ποσοστό χαμηλών σε IQ σκορ. Τα συμπεράσματα της μελέτης (Fanet.al, 2004) αποτυπώνουν ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στον δείκτη IQ ανάλογα την ακτίνα απόσταση της κατοικίας από το σημείο της εξόρυξης.

Το 2005 ολοκληρώθηκε άλλη μια μελέτη του Κινεζικού κράτους (Zhuet.al, 2005) κατά την οποία πραγματοποιήθηκε ανάλυση σε 156 δείγματα αίματος από αγρότες που κατοικούν στην κινεζική μεταλλευτική ζώνη με υψηλή συγκέντρωση σε σπάνιες γαίες. Οι ηλικίες των αγροτών από τους οποίους λήφθηκαν τα δείγματα που αναλυθήκαν ήταν μεταξύ 20 με 45. Οι 45 αγρότες ήταν από μια περιοχή με περισσότερη συγκέντρωση στις βαριές σπάνιες γαίες, 62 προέρχονταν από περιοχή με υψηλή συγκέντρωση στις ελαφριές σπάνιες γαίες και οι υπόλοιποι 49 ήταν από μια περιοχή ελέγχου (περιοχή που δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις σπάνιες γαίες). Το πόρισμα της μελέτης ήταν πως μακροπρόθεσμα η συνεχής και εκτεταμένη έκθεση στην επιβαρυνόμενη ατμόσφαιρα λόγω σκόνης, προκαλούσε διαφορές δυσλειτουργίες στο πεπτικό σύστημα των αγροτών. Η μόλυνση επηρεάζει δραστηριότητες πεπτικών ένζυμων προκαλώντας προβλήματα όπως δυσασπορρόφηση και δυσπεψία, ενώ ταυτόχρονα θα μπορούσε να ευθύνεται και σε περαιτέρω δυσλειτουργίες πρωτεϊνών στον οργανισμό άλλα και στην εξαφάνιση της μικροχλωρίδας του (Zhuet.al, 2005).

Σε παλαιότερη ερευνά όπου διενεργήθηκε στις μεταλλευτικές περιοχές της Κίνας (Wuet.al, 2003), έγινε συσχέτιση της ραδιενεργούς μόλυνσης των σπανίων γαιών με την λευχαιμία. Οι σημαντικότεροι παράγοντες μόλυνσης που εντοπιστήκαν σύμφωνα με την μελέτη αυτή ήταν:

- Το πόσιμο νερό από τα ποταμιά της περιοχής εξόρυξης
- Η ακτίνα απόστασης των κατοίκων σε σύγκριση με τα μεταλλεία
- Ο κατοικήσιμος χρόνος των ανθρώπων στις περιοχές αυτές

Παρατηρήθηκε ότι η εμφάνιση λευχαιμίας στους κατοίκους και η ρύπανση στο περιβάλλον των περιοχών αυτών συσχετίζεται με την εξόρυξη σπανίων γαιών. Τα ορυκτά στοιχεία σπανίων γαιών όπως το Θόριο άλλα και τα οργανοφωσφορικά φάρμακα είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση των παραπάνω προβλημάτων (Wuet.al, 2003).

7.4. Αναφορές κινδύνων από σπάνιες γαίες

Όλες οι μεταλλευτικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα πάνω στον πλανήτη μας αφήνουν ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, άλλες φορές πιο μεγάλο και άλλες φορές πιο μικρό. Αποτυπώματα τα όποια επί το πλείστον είναι μη αναστρέψιμα και διαχειρίσιμα. Σε αυτές τις μεταλλευτικές δραστηριότητες δεν θα μπορούσαν να λείπουν και η εκμετάλλευση κοιτασμάτων των σπανίων γαιών. Ο μεγαλύτερος όγκος των αποθεμάτων των σπανίων γαιών συναντάται εντός των κοιτασμάτων άλλων πετρωμάτων, πετρώματα όμως που συνοδεύονται και με την παρουσία του Θούριου (Th) και του Ουρανίου (U), δύο πολύ επικίνδυνων και ραδιενεργών χημικών στοιχείων. Τα ποσοστά συγκέντρωσης των σπανίων γαιών άλλα και του Θούριου και του Ουρανίου είναι διαφορετικά εντός των σωμάτων των πετρωμάτων και ποικίλλουν ανάλογα με το κοίτασμα. Τα ποσοστά του Θούριου και του Ουρανίου έχουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία και τον εμπλουτισμό των σπανίων γαιών, αυτό γιατί δίνεται μεγάλη βαρύτητα στην ραδιενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί στο περιβάλλον κατά την διάρκεια επεξεργασίας των κοιτασμάτων των σπανίων γαιών. Η απελευθέρωση της ραδιενέργειας αυτής πραγματοποιείται κατά την διαφυγή των λυμάτων που παράγονται στον προεμπλουτισμό και τον εμπλουτισμό των σπανίων γαιών, ενώ στη συνέχεια αποβάλλονται στο περιβάλλον μετά το πέρας της διαδικασίας. Η εξορυκτική δραστηριότητα των σπανίων γαιών έχει προκαλέσει παγκόσμια ανησυχία καθώς διαταράζει τα οικοσυστήματα, άλλα και σε αρκετά μεγάλο βαθμό και τον άνθρωπο λόγω της επιβάρυνσης του υδροφόρου ορίζοντα, όπως επίσης και του αειφόρου ορίζοντα με την εξαγωγή επικινδύνων ραδιενεργών αποβλήτων και ρύπων. Ο αριθμός των χώρων όπου ασχολούνται με την εξόρυξη των σπανίων γαιών αυξάνεται ενώ ήδη μερικές από αυτές που κυριαρχούν στο χώρο εκφράζουν έντονα τους

προβληματισμούς τους για την εξόρυξη των σπανίων γαιών, χώρες όπως η Κίνα, ο Καναδάς, οι ΗΠΑ και η Αυστραλία.

7.4.1. Διαφυγή μολυσμένου νερού

Ένας από τους μεγαλύτερους κίνδυνους όπου μπορεί να συναντήσει η εξορυκτική βιομηχανία των σπανίων γαιών είτε άμεσα (κατά την διαδικασία της επίπλευσης) είτε έμμεσα, είναι η εκροή υδάτων που έχουν υποστεί ρύπανση. Στο στάδιο εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων των σπανίων γαιών χρησιμοποιείται η διαδικασία της επίπλευσης. Η επίπλευση είναι μία διαδικασία που πραγματοποιείται σε δεξαμενές και μέσα σε αυτές δημιουργούνται λύματα, τα όποια μετά το τέλος της διαδικασίας της επίπλευσης μεταφέρονται σε εξωτερικό περιβάλλον. Η έκθεση των λυμάτων σε εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να επιφέρει μεγάλες πιθανότητες συνάντησης τους με το νερό, κυρίως μέσω της βροχής. Το νερό αυτό μέσω της απόπλυσης των λυμάτων που γίνεται λειτουργεί ως μέσο για να ταξιδέψουν οι τοξικές ουσίες είτε μέσα στο έδαφος λόγω πιθανών ρωγμών που μπορεί να υπάρχουν, είτε εν τέλει να καταλήξουν στην θάλασσα και να μολυνθεί ο υδροφόρος ορίζοντας. Ένας επίσης πολύ σημαντικός κίνδυνος που υφίσταται είναι η υπερχειλίση των φραγμάτων στο φαινόμενο της έντονης βροχόπτωσης, καθώς δεν καθίσταται δυνατόν να γίνει κατακράτηση του νερού που ρέει. Η υπερχειλίση των φραγμάτων μπορεί να επιφέρει πολύ μεγάλα ποσοστά ρύπανσης τόσο στο έδαφος, όσο και στον υδροφόρο ορίζοντα καθώς εκεί καταλήγει σχεδόν όλο το ήδη μολυσμένο νερό (μικρά ποσοστά καταλήγουν και στα υπόγεια νερά μέσω των ρωγμών που υπάρχουν στο έδαφος). Τα ποσοστά των ραδιενεργών στοιχείων άλλα και των άλλων επιβαρυντικών χημικών ουσιών που προέρχονται από τη διαδικασία της επίπλευσης συνθέτουν μια συγκεκριμένη σύσταση στο νερό που απορρέει. Η σύσταση αυτή εξαρτάται κυρίως από το αρχικό μέταλλευμα και τις χημικές ουσίες όπου χρησιμοποιηθήκαν για να εμπλουτίσθει. Αυτή την σύσταση την συνθέτουν κυρίως οι ραδιενεργές ουσίες του Θούριου και του Ουρανίου, τα προϊόντα διάσπασης των ραδιενεργών αποβλήτων, τα βαρέα μέταλλα (χρησιμοποιηθήκαν για τον διαχωρισμό στην επίπλευση) και τέλος τα οξέα που παραχθήκαν. Λίγα είναι τα κοιτάσματα που δεν περιέχουν ποσοστά ραδιενεργών ουσιών.

Η υπερχείλιση των φραγμάτων ή ακόμα και η κατάρρευση τους μπορεί να προκαλέσει μια τεραστία σε έκταση οικολογική καταστροφή με αποτέλεσμα μεγάλες ποσότητες τοξικών ουσιών να απελευθερώνουν και να διαχυθούν ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον. Η τακτική επίβλεψη και συντήρηση των φραγμάτων αποτελεί ένα αρχικό βήμα για την μείωση των πιθανοτήτων μιας περιβαλλοντικής καταστροφής. Ο ίδιος κίνδυνος που μπορεί να ισχύει για τα φράγματα, ισχύει και σε μεγάλο βαθμό και για το αρχικό υλικό της εξόρυξης. Μετά την διαδικασία της εξόρυξης ο αρχικός όγκος του μεταλλεύματος μεταφέρεται συνήθως σε εξωτερικό αποθηκευτικό χώρο, όπου εκεί μπορεί να παραμείνει για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα πριν ακολουθήσει την φάση του προεμπλουτισμού (θραύση του μεταλλεύματος) και εν συνεχεία του εμπλουτισμού (επίπλευση). Η αναμονή των πετρωμάτων μπορεί να τα φέρει σε κίνδυνο έκθεσης τους στις βροχή, με την σειρά τους να ακολουθήσει η διαδικασία της απόπλυσης και στη συνέχεια η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα. Ο κίνδυνος σε αυτή τη περίπτωση είναι μικρότερος καθώς ο όγκος του πετρώματος είναι ακατέργαστος και αποτελείται από μεγάλα συσσωματώματα, σε σύγκριση με τα προϊόντα του εμπλουτισμού που αποτελούνται από μικροσωματίδια λεπτής σκόνης.

Τέλος ένας από τους πιο επικίνδυνους τρόπους ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα είναι το ίδιο το μεταλλείο. Η διαδικασία της εξόρυξης με ανοιχτού τύπο εκμετάλλευση (open pit) εκθέτει ένα ολόκληρο μεταλλείο στο νερό της βροχής, όπου μπορεί να αποπλυθεί και στην συνέχεια να διασπείρει το μολυσμένο νερό με όλα τα ραδιενεργά και μη συστατικά. Ωστόσο ο κίνδυνος αυτός γίνεται ακόμη πιο έντονος όταν το μεταλλείο κλείνει (τέλος εκμετάλλευσης) όπου δεν υπάρχει πλέον κανένας ουσιαστικός έλεγχος.

7.4.2. Διαφυγή σκόνης

Η διαδικασία της εξόρυξης των μεταλλευμάτων των σπανίων γαιών από το φλοιό της γης γίνεται είτε με μηχανικά μέσα είτε με εκρηκτικά μέσα. Στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι σχεδόν αδύνατον να αποφύγουμε την ανάπτυξη μεγάλου όγκου

αερίων εκπομπών της σκόνης. Η σκόνη αυτή μπορεί να δημιουργηθεί επίσης και κατά την διαδικασία του προεμπλουτισμού, δηλαδή της θραύσης του μεταλλεύματος. Ο σχηματισμός όλου αυτού του όγκου της σκόνης φέρνει σε έκθεση όλους τους εργαζόμενους του μεταλλείου άλλα και κοντινών χωριών, πόλεων άλλα και ζώων τα οποία βρίσκονται σε μια κοντινή ακτίνα γύρω από τον χώρο των εργασιών της εξόρυξης. Τα αέρια σωματίδια που περιέχουν Θούριο και Ουράνιο καθώς και άλλες ραδιενεργές ουσίες, αιωρούνται και μεταφέρονται με τα κύματα του αέρα, ρυπαίνοντας τόσο την πανίδα, όσο και την χλωρίδα της ευρύτερης περιοχής.

7.4.3. Γενικοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι

Η ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, η ρύπανση του αειφόρου ορίζοντα και η αποψίλωση της χλωρίδας στην περιοχή που εδράζεται ένα μεταλλείο σπανίων γαιών, όλα αυτά μαζί αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κίνδυνο τόσο βραχυπρόθεσμα άλλα κυρίως μακροπρόθεσμα. Οι κίνδυνοι αυτοί γίνονται ακόμη πιο έντονη σε περίπτωση που δεν υπάρξει κάποια περεταίρω περιβαλλοντική αποκατάσταση του μεταλλείου. Η σύνδεση που έχει η χλωρίδα και η πανίδα της εκάστοτε ευρύτερης περιοχής έχει ζωτική σημασία για του πολίτες που κατοικούν κοντά. Η διαταραχή τους άλλα και τα καταστροφικά αποτελέσματα της ρύπανσης από το ορυχείο φαίνονται ακόμη περισσότερο σε βάθος χρόνου. Η χρήση και η καλλιέργεια της γης στην περιοχή γίνεται πολύ δύσκολη. Η ρύπανση και η ξηρασία είναι αποτύπωμα που έχει αφήσει η εξορυκτικοί δραστηριότητα. Ένας άλλος κίνδυνος είναι η χρήση του ήδη πλούσιο σε ρύπους νερού. Το νερό χρησιμοποιείται ως πόσιμο και στις καλλιέργειες. Επιβαρύνεται επομένως και η χλωρίδα και πανίδα της περιοχής. Σε μικρότερο βαθμό το νερό χρησιμοποιείται ως συνθετικό πρόσθετο σε διάφορα κατασκευαστικά υλικά, με αποτέλεσμα να παραμένουν εκτεθειμένοι συνεχεία οι άνθρωποι που ζουν σε ένα σπίτι που έχει κατασκευαστεί με αυτά τα υλικά. Το νερό είναι ζωτικής σημασίας σε ένα οικολογικό σύστημα. Η ρύπανση του νερού μπορεί εύκολα να διαταράξει και εν συνεχεία να καταστρέψει όλη αυτή την αλυσίδα του συστήματος που ονομάζεται οικολογία.

Εν κατακλείδι γίνεται εμφανές ότι η διαφυγή των ραδιενεργών και χημικών ουσιών που εμφανίζονται κατά την εξόρυξη και τον εμπλουτισμό των σπανίων γαιών μπορεί να γίνει σε όλα τα στάδια της διαδικασίας. Η διαφυγή τους σε αέρα και νερό είναι δύσκολο να αποφευχθεί και σε κάθε βήμα γίνεται όλο και πιο επικίνδυνη.

8. Αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων

Οι έντονες δραστηριότητες εξόρυξης και παραγωγής σπανίων γαιών έχουν οδηγήσει σε σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία σε χώρες όπως η Κίνα, οι ΗΠΑ, η Ινδία, η Μαλαισία και η Βραζιλία. Δραστηριότητες εξόρυξης όπως κοπή, διάτρηση, ανατινάξεις, μεταφορά, αποθήκευση και επεξεργασία μπορούν να απελευθερώσουν σκόνη που περιέχει στοιχεία σπανίων γαιών, τοξικά μέταλλα και χημικές ουσίες στον αέρα, καθώς και στα γύρω υδάτινα σώματα. Με την σειρά τους αυτά μπορούν να επηρεάσουν, εκτός από τον άνθρωπο, το τοπικό έδαφος, την άγρια ζωή και τη βλάστηση. Η αύξηση εξόρυξης REE θα σημαίνει περισσότερη περιβαλλοντική υποβάθμιση και κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, καθώς οι περιοχές διάθεσης αποβλήτων μπορούν να εκτεθούν σε καιρικές συνθήκες και να έχουν τη δυνατότητα να μολύνουν τον αέρα, το έδαφος και το νερό εάν δεν χρησιμοποιούνται κατάλληλα μέτρα παρακολούθησης και προστασίας (Barakos et al., 2015). Αυτά τα προβλήματα οφείλονται σε μεγάλο βαθμό σε ανεπαρκείς περιβαλλοντικούς κανονισμούς και ελέγχους στις περιοχές εξόρυξης και επεξεργασίας. Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα είναι η ραδιενέργεια ορισμένων μεταλλευμάτων. Για παράδειγμα, το ορυχείο Baya nOba (Κίνα) απασχολεί περίπου 7.000 εργαζόμενους, εκ των οποίων περίπου 3.000 εκτίθενται σε Θόριο που περιέχει αερομεταφερόμενη σκόνη. Βρέθηκαν επίσης αυξημένες συγκεντρώσεις (^{220}Rn) στον αέρα. Η έκθεση στην ακτινοβολία γ είναι σημαντική στις περιοχές εξόρυξης (IAEA, 2011). Η εκτεταμένη χρήση των REE σε διάφορες σύγχρονες τεχνολογίες αυξάνεται συνεχώς παρά κάποιες γνώσεις σχετικά με τις περιβαλλοντικές ανησυχίες των REE καθώς εκλύονται στο περιβάλλον ραδιονουκλεΐδια. Οι περισσότερες από τις επιβλαβείς επιπτώσεις της έκθεσης σε REE στον άνθρωπο και οι πιθανές επιπτώσεις τους στην υγεία προέρχονται από μελέτες εργαζομένων σε ορυχεία και άλλων που ασχολούνται τακτικά με τις REE ή τα

προϊόντα τους, όπου η έκθεση είναι συνήθως πολύ υψηλότερη από αυτή που θα βιώσει ο γενικός πληθυσμός. Ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη διεργασία επεξεργασίας, εξόρυξης και διύλισης μεταλλεύματος ήταν υπεύθυνες για τους κινδύνους για την υγεία των εργαζομένων και των κατοίκων της περιοχής, τη ρύπανση των υδάτων και την καταστροφή των καλλιεργήσιμων εκτάσεων (Rim et al., 2013). Το πρόσφατο κοινωνικοπεριβαλλοντικό ζήτημα των επιπτώσεων στην υγεία από την επεξεργασία μεταλλεύματος REE (τόσο από ραδιενεργό όσο και από μη ραδιενεργό μόλυνση) σε περιοχές της Κίνας έχει εγγραφεί ως μείζονος ανησυχίας. Για παράδειγμα, μια αστική σκόνη δρόμου μιας βιομηχανικής πόλης, το Zhuzhou στην κεντρική Κίνα κατέγραψε πολύ σημαντικές συγκεντρώσεις REE (οι συγκεντρώσεις σε REE κυμαινόταν από 66,1 μg/g έως 237,4 μg/g με μέσο όρο 115,9 μg/g) και αποκαλύπτει τη βαρύτητα της ρύπανσης, ιδίως σε βιομηχανικές πόλεις (Sun et al., 2017). Αυτό εξηγείται καλύτερα από την πρόσφατη κοινωνική και περιβαλλοντική σύγκρουση γύρω από την ανάπτυξη του Lynas Advanced Materials Plant (LAMP) στο Κουαντάν της Μαλαισίας που οδήγησε σε διεθνή ακτιβισμό και ισχυρισμούς περιβαλλοντικής και κοινωνικής αδικίας (Ali, 2014). Υπάρχουν επίσης αρκετές αναφορές για την επαγγελματική έκθεση σε REE που οδήγησαν σε βιοσυσσώρευση και δυσμενείς επιπτώσεις στις αναπνευστικές οδούς (Sabbioni et al., 1982, Mc Donald et al., 1995, Yoon et al., 2005, Rim, 2017).

Κάθε χρόνο, η βιομηχανία ηλεκτρονικών ειδών παράγει έως και 41 εκατομμύρια τόνους ηλεκτρονικών αποβλήτων, αλλά καθώς ο αριθμός των καταναλωτών αυξάνεται και η διάρκεια ζωής των συσκευών συρρικνώνεται σε ανταπόκριση στη ζήτηση για το νεότερο και καλύτερο, ο αριθμός αυτός θα μπορούσε να φτάσει τους 50 εκατομμύρια τόνους στο άμεσο μέλλον. Ο Lange et al. (2017) μελέτησε τον αντίκτυπο ενός σωρού από κατακερματισμένα οχήματα στο έδαφος της πολιτείας του Σάο Πάολο της Βραζιλίας για πολλά βαρέα μέταλλα και REE Τα κλάσματα μάζας όλων των στοιχείων συμπεριλαμβανομένου του REE ήταν πολύ υψηλότερα από τις τιμές αναφοράς.

Επί του παρόντος, υπάρχουν σημαντικά κενά στην κατανόησή μας για τις δυσμενείς επιπτώσεις της REE στην ανθρώπινη υγεία, τα ανθρωπογενή επίπεδα και τη μοίρα τους στη βιογεωχημική τους ανακύκλωση και στις ατομικές και πρόσθετες τοξικολογικές τους επιπτώσεις. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες για τον εντοπισμό των ανθρωπογενών πηγών, τους μηχανισμούς μεταφοράς, τη βιοσυσσώρευση και την περιβαλλοντική συμπεριφορά τους για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία στο μέλλον. Κατά συνέπεια, η υιοθέτηση νέων δημόσιων πολιτικών και η ανάπτυξη αποτελεσματικότερων τεχνολογιών επεξεργασίας θα καθορίσουν τις μελλοντικές δυσμενείς επιπτώσεις της REE στα υδάτινα συστήματα. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη να κατανοήσουμε τις τοξικολογικές ιδιότητες του REE, καθώς υπάρχει ευρεία χρήση αυτών των στοιχείων στη γεωργία και την ιατρική και απαιτούνται περισσότερες μελέτες και ενοποίηση για την ακριβή αξιολόγηση των επιπτώσεων αυτών των στοιχείων στην ανθρώπινη υγεία (Gwenzi et al. , 2017).

8.1. Αποκατάσταση χώρου των ορυχείων

Μετά το πέρας των εξορυκτικών εργασιών, το ορυχείο παραμένει ανενεργό. Η νομοθεσία στην πλειοψηφία των κρατών προβλέπει για την έναρξη των εργασιών μιας μεταλλευτικής δραστηριότητας να κατατίθεται από την εταιρία, που κατέχει τα μεταλλευτικά δικαιώματα, ένα περιβαλλοντικό σχέδιο αποκατάστασης. Το σχέδιο περιβαλλοντικής αποκατάστασης τρέχει και υλοποιείται κατά την διάρκεια λειτουργίας του μεταλλείου, ενώ συνεχίζει και μετά το τέλος των εξορύξεων.

Όπως κάθε είδος μεταλλευτικής δραστηριότητας έτσι και τα ορυχεία σπανίων γαιών απαιτούν μια πολυετή διαδικασία για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος μετά την εξόρυξη. Η περιβαλλοντική μελέτη που υποβάλλεται πριν την έναρξη των εργασιών μιας εξόρυξης, περιλαμβάνει και ένα σχέδιο αποκατάστασης του ορυχείου. Το σχέδιο αποκατάστασης προβλέπει την εξασφάλιση τριών βασικών στόχων μετά το κλείσιμο του μεταλλείου, που είναι οι εξής:

- i. Σταθερότητα του εδάφους τόσο εντός όσο και εκτός περιβάλλοντα χώρου του ορυχείου (αποθέσεις εκτός μεταλλείου)

- ii. Παραγωγικότητα του εδάφους
- iii. Οπτική αποκατάσταση (αισθητική του τοπίου)

8.1.1. Σταθερότητα του εδάφους

Κατά την διάρκεια των εργασιών ενός μεταλλείου απαιτείται η ασφάλεια των εργασιών και του προσωπικού. Θα πρέπει επίσης να εξασφαλίζεται η ευστάθεια των πρανών και μετά το έλος της εκμετάλλευσης.

Για τις αποθέσεις που λαμβάνουν χωρά εκτός μεταλλείου απαιτείται επίσης σταθερότητα, για την αποφυγή μελλοντικών κατολισθήσεων. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία βαθμίδων με μια κλίση 2% - 3%, η οποία επιφέρει ένα μεγάλο συντελεστή ασφαλείας. Για την ασφαλέστερη όμως τελική απόθεση χρησιμοποιούνται και τεχνικά μέσα όπως φράγματα, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (οπλισμένο και μη οπλισμένο) και συμρατομπλέγματα.

8.1.2. Παραγωγικότητα του εδάφους

Πριν το άνοιγμα ενός μεταλλείου θα πρέπει να έχει ληφθεί υπόψη το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που θα αφήσει η μεταλλευτική δραστηριότητα στο φυσικό περιβάλλον. Η γλωρίδα και έμμεσα και η πανίδα θα διαταραχθεί καθώς αλλάζουν οι ισορροπίες του οικοσυστήματος. Πολλές φορές αρκετά ζώα μπορεί να αναγκαστούν να μεταναστεύσουν για να βρουν τροφή. Η βιοποικιλότητα έχει σημαντικό ρόλο για την ισορροπημένη ζωή των ζώων. Η δημιουργία ενός μεταλλείου συνεπάγεται στην αποψίλωση μικρών αλλά και μεγάλων εκτάσεων γης, με αποτέλεσμα την μερική καταστροφή του περιβάλλοντος. Η φυσική αποκατάσταση και η παραγωγικότητα του εδάφους μετά το πέρας ενός ορυχείου είναι πολύ σημαντικός και δύσκολος στόχος να επιτευχθεί. Το πιο σύνηθες μέτρο που λαμβάνεται είναι η δεντροφύτευση με είδη τα οποία υπήρχαν στην περιοχή και πριν το μεταλλείο. Η δεντροφύτευση αφορά τόσο το μεταλλείο όσο και τις αποθέσεις του. Η διαδικασία της δεντροφύτευσης για την

αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος μπορεί να διαρκέσει κα αρκετά χρόνια. Για την επίτευξη πιο γρήγορης αποκατάσταση η έναρξη της δεντροφύτευσης ξεκινάει κατά την διάρκεια λειτουργίας του μεταλλείου, όσο προχωρά η εξόφληση των βαθμίδων.

8.1.3. Οπτική αποκατάσταση

Η αισθητική ενός τοπίου είναι ένας παράγοντας ο οποίος πολλές φορές αγνοείται άλλα αποτυπώνει το τελικό αποτέλεσμα της επέμβασης στο τοπίο μεταλλευτικής δραστηριότητα. Η οπτική αποκατάσταση πολλές φορές είναι υποκειμενική. Η φυσική αποκατάσταση τις περισσότερες φορές συνδυάζεται και με την οπτική εναρμόνιση του τοπίου, καθώς αυτό επανέρχεται στην προηγούμενη εικόνα του. Ο Gegen το 1992 είπε: *‘Η σύγχρονη μεταλλευτική δραστηριότητα είναι ικανή να μεταβάλλει το φυσικό τοπίο περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα σε καιρό ειρήνης’*. Αυτή η τρομακτική αλλαγή του τοπίου είναι σχεδόν αδύνατη να αποκατασταθεί πλήρως. Για αυτό εταιρείες προχωρούν και σε άλλες λύσεις αποκατάστασης πέρα από τη φυσική αποκατάσταση, προσφέροντας νέες χρήσεις του χώρου για τις τοπικές κοινωνίες. Οι σύγχρονες αυτές τάσεις για την αποκατάσταση των μεταλλείων είναι:

- Υγροβιότοποι ή λιμνοδεξαμενές στην θέση των ανοιχτού τύπου ορυχείων. Τεχνίτες κατασκευές οι οποίες θα αποτελέσουν φυσικοί πόροι ιδιαίτερης περιβαλλοντικής αξίας. Οι λιμνοδεξαμενές συμπληρώνουν κατά το βέλτιστο τρόπο το περιβάλλον δασικό οικοσύστημα, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν την υδροδότηση γειτονικών καλλιεργειών. Η οικονομία των τριγύρω κοινωνιών θα συνεχίζει να υπάρχει ακόμη και μετά το πέρας της εκμετάλλευσης με την βοήθεια αυτών των κατασκευών.
- Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (X.Y.T.A.). Το έργο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί αξιοποιώντας έναν ήδη επιβαρυμένο χώρο, αυτόν των ορυχείων, χωρίς να υπάρξει και άλλη άσκοπη χρήση γης. Προϋπόθεση του έργου είναι η στεγανοποίηση του πυθμένα με άργιλο ή μπετονίτη, σε συνδυασμό με ειδικό γι’ αυτή τη χρήση πλαστικό. Η στεγανοποίηση της

επιφανείας γίνεται για την αποφυγή απορροής ή κατεΐσδυσης των υγρών, που προκύπτουν από την αποσύνθεση των απορριμμάτων.

- Υπόγειοι αποθηκευτικοί χώροι ραδιενεργών και μη αποβλήτων. Το περιβαλλοντικό πρόβλημα των ραδιενεργών απόβλητων του Θορίου μπορεί να λυθεί εν μέρει με την αποθήκευση και ταφή του για πολλά έτη σε ειδικά διαμορφωμένες αποθήκες εντός ενός υπόγειου μεταλλείου. Βασική προϋπόθεση, η πλήρης στεγανοποίηση του έργου για την αποφυγή διαρροών.
- Ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Η κατασκευή ψυχαγωγικών πάρκων, η δημιουργία υπαίθριων θεάτρων, διαμόρφωση υπόγειων μουσείων, σύνθεση υπόγειων αποθηκευτικών datarooms (Logistics) και η ανέγερση εμπορικών καταστημάτων στην περιοχή που κάποτε είχε έδρα ένα ορυχείο θα αποφέρει ενίσχυση στην κοινωνικές τάσεις. Μια τέτοια κατασκευή συνδυάζεται πιο αρμονικά με το φυσικό τοπίο, ενώ παράλληλα ενισχύει την πολιτιστική και οικονομική κατάσταση της περιοχής.

8.2. Ανακύκλωση σπανίων γαιών

Όπως αναφέρθηκε, οι σπάνιες γαίες έχουν θεμελιώδη σημασία για τις νέες σύγχρονες τεχνολογίες της εποχής μας καθώς και για τις στρατιωτικές εφαρμογές. Η θέσπιση των σπανίων γαιών ως κρίσιμα χημικά στοιχεία σε αρκετές ισχυρές παγκόσμιες οικονομίες (οι ΗΠΑ, η Νότια Κορέα, η Ιαπωνία, η Κίνα, η Ευρωπαϊκή Ένωση και το Ηνωμένο Βασίλειο), τις ανάγκασε στην στροφή προς την ανακύκλωση αυτών, κατά βάση για οικονομικούς λόγους. Η αυξημένη ζήτηση των σπανίων γαιών επιφέρει και την ταχύτατη μείωση των αποθεμάτων, δημιουργώντας έτσι το θέμα της ανακύκλωσής τους. Η τροφοδότηση της αγοράς με σπάνιες γαίες που προέρχονται από ανακύκλωση έχει μεγάλο ενδιαφέρον παγκόσμια. Η χρήση ανακυκλώσιμων σπανίων γαιών σημαίνει ήπια εκμετάλλευση των υπαρχόντων πόρων, όποτε από περιβαλλοντικής άποψης υπάρχει και ελάττωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Η ανάγκη για την βελτίωση της διαδικασίας της ανακύκλωσης γίνεται όλο και πιο σημαντική αφού οι μετοχές μερικών σπανίων γαιών κερδίζουν συνεχώς έδαφος στο διεθνές χρηματιστήριο. Το Ινστιτούτο Εφαρμοσμένης Οικολογίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης έδωσε στη δημοσιότητα μια μελέτη το 2011. Στην μελέτη αναφέρεται πως διεξάγονται ερευνητικές δραστηριότητες για την ανακύκλωση σπανίων γαιών στην Κίνα καθώς και σε άλλες χώρες. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως αρκετές εταιρίες έχουν ήδη κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τρόπους ανάκτησης σπανίων γαιών από προϊόντα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό της OSRAM. Η OSRAM έχει στην κατοχή της δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που αφορά στην ανακύκλωση Ύττριου και Ευρωπίου από λαμπτήρες εκκένωσης και φθορισμού. Ένα μεγάλο στοίχημα στο τομέα της ανακύκλωσης των σπανίων γαιών είναι αυτό των απορριμμάτων από μαγνήτες, τόσο μετά την ανακύκλωσή τους όσο και κατά την παραγωγή τους. Συγκεκριμένα η έκθεση αναφέρει ότι ένα ποσοστό υλικών 20% - 30% που σχετίζονται με τους μαγνήτες σπανίων γαιών καταστρέφονται κα την διαδικασία παραγωγής τους. Το στάδιο της επανάκτησής τους είναι μια διαδικασία η όποια βρίσκεται σε δοκιμαστική φάση.

Αρκετές μελέτες στην Κίνα αναφέρουν ότι η ανάκτηση των σπανίων γαιών από θραύσματα μαγνητών Νεοδύμιο θα μπορούσε να φτάσει σε βαθμό της τάξης του 99%. Στην Ιαπωνία βρίσκονται σε εξέλιξη προγράμματα τα οποία έχουν στόχο την ανάκτηση σπανίων γαιών όπως το Λανθάνιο και το Δημήτριο από χρησιμοποιημένες μπαταρίες Ni – MH με στόχο την χρήση τους σε νέες μπαταρίες. Με τα σημερινά δεδομένα δεν υπάρχουν σε βιομηχανικό επίπεδο ανακτήσεις σπανίων γαιών από μπαταρίες Ni – MH με στόχο την συλλογή La, Ce και Nd. Η ανάκτηση από ανακύκλωση των σπανίων γαιών είναι πλέον επεκτατική ανάγκη καθώς η αύξηση των τιμών τους αναγκάζει τις εταιρίες κι τις οδηγεί όλο και πιο κοντά στην εύρεση νέων καινοτομιών για την ανακύκλωση τους.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο Fang et al. (2017) ανέπτυξε μια απλή, γρήγορη και χαμηλού κόστους τεχνολογία για να βοηθήσει στην ανακύκλωση μιγμάτων σπανίων γαιών. Ομάδα Schelter έχει συνθέσει νέες οργανικές ενώσεις (α 'συνδέτης'): τρις (2-trit-butylhydroxylaminato) βενζυλαμίνη ($H_3 \text{Trino}_x$) για διαχωρισμούς. Η κεντρική υπόθεση αυτής της εργασίας είναι ότι αυτές οι προσαρμοσμένες οργανικές ενώσεις

μπορούν να παρέχουν απλούς και αποτελεσματικούς διαχωρισμούς για μίγματα REE, με βάση τις διαφορές διαλυτότητας των συμπλεγμάτων τους. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Schelter και την ομάδα του αναμένεται να συμβάλει στη μείωση των αποβλήτων και στη μείωση της δραστηριότητας εξόρυξης REE προσθέτοντας ανακυκλωμένες σπάνιες γαίες στην αλυσίδα εφοδιασμού. Το Ινστιτούτο Κρίσιμων Υλικών του Υπουργείου Ενέργειας των ΗΠΑ (CMI) ανέπτυξε μια μέθοδο χρήσης βακτηρίων για την παραγωγή οξέων για τη διάλυση και τον διαχωρισμό του REE από τα τεμαχισμένα ηλεκτρονικά. Τα βακτηρίδια *Glucanobacter* καταναλώνουν σάκχαρα και παράγουν οξέα και η μέθοδος είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον (CMI, 2018). Επί του παρόντος βρίσκονται σε εξέλιξη περαιτέρω εργασίες από αυτούς τους εργαζομένους για να αναπτύξουν τις έννοιες σε πρακτικές και βιομηχανικά βιώσιμες διαδικασίες ανακύκλωσης. Από τις μελέτες που βρίσκονται σε εξέλιξη και την πρόοδο που έχει σημειωθεί μέχρι στιγμής, αναμένεται ότι η ανακύκλωση του REE έχει τη δυνατότητα να είναι οικονομικά και πιο εύκολα εφικτή από την εκμετάλλευση νέων αποθεμάτων ορυκτών.

8.2.1. Αντιμετώπιση Θορίου

Λόγω των παρόμοιων χημικών τους δομών με τις σπάνιες γαίες, το Ουράνιο και το Θόριο απαντώνται συχνά σε ορυκτά σπανίων γαιών μέσω αντικατάστασης πλέγματος, με αποτέλεσμα ζητήματα ακτινοβολίας στην επεξεργασία σπανίων γαιών (Kanazawa & Kamitani, 2005).

Οι Jordens et al. (2013) εξέτασε την περιεκτικότητα σε Ουράνιο και Θόριο στα παρακάτω ορυκτά σπανίων γαιών (Πίνακας 8.1.). Μέχρι και το 5% του Ουρανίου βρίσκεται συνήθως στον ξενότιμο και σπάνια στο μοναζίτη, αν και περιστασιακά βρέθηκε πολύ υψηλό στο 16%. Μεγάλες ποσότητες Θορίου απαντώνται συνήθως στο μοναζίτη που μπορεί ακόμη και να φτάσει το 20%. Ο μπαστυναζίτης φιλοξενεί συνήθως μικρή ποσότητα Ουρανίου και συχνά συγκεκριμένη ποσότητα Θορίου. Υπάρχει ένα άλλο είδος σπανίων γαιών, οι άργιλοι προσρόφησης ιόντων που βρίσκονται κυρίως στην Κίνα. Αυτοί οι πόροι περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες ουρανίου και Θορίου να είναι περίπου 20-30 ppm ThO_2 και U_3O_8 με βάση το

συνολικό REO (Wang, 2006 , Wang και Tang, 2007). Αυτοί οι πόροι σπανίων γαιών βρίσκονται στη νότια Κίνα και είναι πλούσιοι σε Ύτριο και άλλες βαριές σπάνιες γαίες. Είναι επίσης οι κύριες πηγές παραγωγής βαριάς σπάνιας γης στον κόσμο. Δεν λαμβάνονται μέτρα για τον έλεγχο της ακτινοβολίας Ουρανίου και Θορίου λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεών τους.

Μεταλλικά στοιχεία	Χημική φόρμουλα	Ποσοστό βάρους (%)		
		REO	ThO ₂	UO ₂
Μπασνασίτης	(Ce, La) (CO ₃)F	70-74	0-0.3	0,09
	(La, Ce) (CO ₃)F			
	Y(CO ₃) ΣΤ			
Μοναζίτης	(Ce, La, Nd, Th) PO ₄	35-71	0-20	0-16
	(La, Ce, Nd, Th) PO ₄			
	(Nd, Ce, La, Th) PO ₄			
Ξενότιμο-Y	YPO ₄	52-67	-	0-5

Πίνακας 8.1. Περιεκτικότητα σε Ουράνιο και Θόριο στα ορυκτά σπανίων γαιών (με βάση τους Jordens et al., 2013).

Εξαιρουμένων των πηλών προσρόφησης ιόντων, η παρουσία ουσιαστικού Ουρανίου και ή Θορίου στα τρία πρωτογενή ορυκτά σπανίων γαιών προκαλεί σημαντική ανησυχία λόγω της ραδιενέργειάς τους. Οι κατάλληλες μέθοδοι για τον διαχωρισμό τους από τις σπάνιες γαίες για την ορθή τους διαχείριση είναι επομένως πολύ σημαντικές προκειμένου να αποφευχθεί η περιβαλλοντική ρύπανση και η μόλυνση των προϊόντων σπανίων γαιών (Soldenhoff, 2013). Το Ουράνιο, εάν μπορεί να ανακτηθεί οικονομικά ως υποπροϊόν, πωλείται ως πυρηνικό καύσιμο. Ωστόσο, το Θόριο είναι επί του παρόντος μόνο ένα νουκλίδιο που θα μπορούσε ενδεχομένως να

χρησιμοποιηθεί στην πυρηνική βιομηχανία στο μέλλον. Επί του παρόντος, υπάρχει πολύ μικρή ή και καθόλου αγορά Θόριου. Ως εκ τούτου, το Θόριο είναι συνήθως το κύριο μέλημα όσον αφορά τον κίνδυνο ακτινοβολίας στην παραγωγή σπανίων γαιών.

Η λύση την οποία σκέφτηκαν τα στελέχη της Lynas, συμπεριλαμβανομένου και του Εκτελεστικού Προέδρου Nicholas Curtis, είναι ότι το εργοστάσιό της θα λειτουργεί υπό υψηλά περιβαλλοντικά πρότυπα και θα αραιώσει τα απόβλητα που έχουν μολυνθεί με Θόριο αναμειγνύοντάς τα με ασβέστη ώστε να επιτύχουν κάτω από αποδεκτές διεθνείς συγκεντρώσεις για το ραδιενεργό υλικό. Το μείγμα ασβεστίου θα μετατραπεί σε στερεές κατασκευές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για θαλάσσια τείχη ή δομικά υλικά. Αν και παραμένει ασαφές πού θα πραγματοποιηθούν αυτές οι κατασκευές και αν η διαδικασία θα χρησιμοποιήσει όλα τα τοξικά απόβλητα του εργοστασίου, ο Curtis είπε ότι δεν υπάρχει σύγκριση μεταξύ της εγκατάστασής του και των παλιών εγκαταστάσεων (π.χ. Mitsubishi), οι οποίες δεν θα έπρεπε να είχαν κατασκευαστεί ποτέ.

8.3. Πολιτικές προστασίας του περιβάλλοντος

Η εξάπλωση της βιομηχανίας των σπανίων γαιών προκάλεσε ανεξέλεγκτες και ανοργάνωτες κινήσεις, οι οποίες επέφεραν πολλά προβλήματα τόσο στην διαχείριση των στοιχείων όσο και στην προστασία του περιβάλλοντος. Οι κρατικοί μηχανισμοί για την διαχείριση της κατάστασης και της αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σπανίων γαιών καθυστέρησαν να δράσουν. Μεγάλες μεταλλευτικές χώρες όπως η Κίνα, οι ΗΠΑ και η Αυστραλία άργησαν να κατανοήσουν τους κινδύνους που δημιουργούσαν οι εξορύξεις και η επεξεργασία των σπανίων γαιών. Ωστόσο οι κρατικοί μηχανισμοί ξεκίνησαν παρότι αργά να λειτουργούν προς όφελος του περιβάλλοντος και κυρίως των πολιτών τους.

8.3.1. Κίνα

Αν και η μεγαλύτερη μεταλλευτική χώρα στο κλάδο των σπανίων γαιών, η Κίνα, ήταν αυτή που αντέδρασε με την μεγαλύτερη καθυστέρηση όσο αφορά τα προβλήματα που δημιουργούν οι εξορύξεις των σπανίων γαιών. Ακόμη και σήμερα δυσκολεύεται να ελέγξει τον μεγάλο αριθμό μικρών ορυχείων (εκ των οποίων τα περισσότερα είναι μερικώς παράνομα), που προκαλούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα. Η Κίνα ωστόσο λειτουργεί και αρκετά μεγάλα ορυχεία, χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό του Bayan Obo. Η εξόρυξη μαστιναζίτη και μοναζίτη όμως αποτελεί περιβαλλοντικό κίνδυνο καθώς περιέχουν Θόριο. Το ίδιο πρόβλημα επικρατεί και στο ορυχείο της περιοχής Sichuan όπου εξάγεται μαστιναζίτης.

Οι εξορύξεις από τα παράνομα ορυχεία της Κίνας δημιουργούν προβλήματα στους κρατικούς μηχανισμούς της που είναι υπεύθυνη για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Εκτιμάται ότι περίπου 20.000 t ετησίως εξορύσσονται και εξάγονται παράνομα εκτός Κίνας. Οι πιθανότητες αυτά τα ορυχεία να κατέχουν κάποιες τεχνολογίες προστασίας του περιβάλλοντος είναι σχεδόν μηδενικές. Έτσι τα παράνομα ορυχεία της χώρας αυξάνουν τον κίνδυνο για την υγεία των περιοίκων και του περιβάλλοντος στις γύρω περιοχές. Τέλος στον τομέα του διαχωρισμού και της επεξεργασίας του μεταλλεύματος τα αποτελέσματα αναφέρουν διαφυγή στο περιβάλλον τεραστίων ποσοτήτων ρύπων (αέριοι ρύποι, υγροί ρύποι και στερεά απόβλητα). Οι εγκαταστάσεις των παράνομων ορυχείων στην πλειοψηφία τους δεν έχουν αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης απόβλητων.

Η χώρα έχει περάσει την τελευταία δεκαετία προσπαθώντας να φέρει ισορροπία στον τομέα κλείνοντας τα παράνομα ορυχεία σπανίων γαιών, περιορίζοντας τις εξαγωγές και την εγχώρια παραγωγή. Οι μικρές ιδιωτικές επιχειρήσεις έχουν κλείσει και ο έλεγχος της βιομηχανίας έχει τεθεί στα χέρια έξι κρατικών ορυχείων. Η ρύθμιση και η εποπτεία στη βιομηχανία έχει βελτιωθεί, αλλά η παράνομη εξόρυξη και παραγωγή συνέχισαν να διαταράσσουν την τάξη της αγοράς και να βλάπτουν τα συμφέροντα των νόμιμων επιχειρήσεων, ανέφερε σε ανακοίνωση το Υπουργείο Βιομηχανίας και

Πληροφορικής (ΜΠΤ). Το ΜΠΤ δήλωσε ότι θα εντείνει τις προσπάθειές του για την απαγόρευση της παράνομης εξόρυξης και ανακύκλωσης υλικών σπανίων γαιών και θα διασφαλίσει την πλήρη εξάλειψη των μη εξουσιοδοτημένων εγκαταστάσεων. Θα θεσπίσει επίσης ένα σύστημα ιχνηλάτησης για να εμποδίσει τους αγοραστές από τη χρήση παράνομων υλικών και να διασφαλίσει ότι οι παραγωγοί δεν θα υπερβούν τον στόχο παραγωγής αναστέλλοντας παράλληλα τις άδειες των παραβατικών εταιρειών.

Η κινέζικη κυβέρνηση αγνοούσε για πολλά χρόνια τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με τις εξορύξεις των σπανίων γαιών και της επεξεργασίας τους. Ωστόσο από το 2010 και ύστερα αποφάσισε να αντιδράσει εναντίον σε αυτά και να εφαρμόσει πολιτικές οι οποίες αναμένεται να ανεβάσουν τα περιβαλλοντικά στάνταρ. Οι πολλαπλές εφαρμογές των σπανίων γαιών και η αναγκαιότητα τους στην ανάπτυξη αλλά και διατήρηση της ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας, καθόρισε κατά πολύ μεγάλο βαθμό την νέα περιβαλλοντική πολιτική της Κίνας.

Η νέα περιβαλλοντική πολιτική (2010) εστιάζει στην αποτελεσματική ανακύκλωση των σπανίων γαιών καθώς επίσης και την θέσπιση μιας σειράς περιβαλλοντικών κανόνων και ορίων. Βασικό στόχο του κράτους πέρα από περιορισμό των μικρών και παράνομων ορυχείων, αποτελεί και η ενίσχυση της αειφόρου ανάπτυξης και η θωράκιση του περιβάλλοντος από τους ρύπους.

Το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τεχνολογιών της Κίνας, το Μάιο του 2010 ανακοίνωσε ορισμένα κριτήρια και κανονισμούς για την ορθή λειτουργία της μεταλλευτικής βιομηχανίας των σπανίων γαιών. Στο σύνολο των κανονισμών περιλαμβάνονται τα κατώτερα όρια και απαιτήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και το γενικού πληθυσμού. Ο τελικός στόχος του σχεδίου είναι να ενισχυθεί η βιομηχανία σπανίων γαιών και η αειφόρος ανάπτυξη. Προβλέπεται ακόμα η οργάνωση και η αναδιάρθρωση της μεταλλευτικής βιομηχανίας των REE. Μεταξύ άλλων προβλέπει επίσης:

- Την καθολική απαγόρευση εξόρυξης καθαρού μοναζίτη, καθώς περιέχει σε πολύ μεγάλο βαθμό ποσοστό ραδιενεργών στοιχείων
- Την τοποθέτηση εξειδικευμένου τεχνολογικά εξοπλισμού στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας μπαστναζίτη. Θα πρέπει στο σύνολο των εγκαταστάσεων να τοποθετηθούν συστήματα διαχωρισμού των υγρών ρύπων, των αερίων ρύπων και των στερεών αποβλήτων, όλα αυτά για την πρόληψη της διασποράς τους.
- Μετά από κάθε εξόρυξη θα υπάρχει οργάνωση ειδικού προγράμματος αποκατάστασης των φυτών και της βλάστησης. Οι αποκαταστάσεις θα πρέπει να αγγίζουν άκρως υψηλό ποσοστό της τάξης του 90% στην περιοχή της εξόρυξης

Η ένταξη των μέτρων ξεκίνησε το 2009 και συνεχίζει να εφαρμόζεται αλλά και να εξελίσσεται οπότε υπάρχει περιθώριο βελτίωσης. Τα πρώτα αποτελέσματα της νομοθεσίας που αφορούν τον έλεγχο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από την εξόρυξη των σπανίων γαιών όπως και η αποκατάσταση της υπάρχουσας μόλυνσης, εμφάνισε αποτελέσματα στα τέλη του 2015.

Τα κατώτερα όρια εκπομπών αφορούν όλα τα είδη ρύπων (υγροί, στέρεοι και αέριοι) και ειδικότερα τους ραδιενεργούς ρύπους, όπως το Θόριο. Τα όρια προσαρμόζονται και διαφέρουν για τις εκάστοτε βιομηχανίες όπως και για αυτές που αναμένονται να ανοίξουν μελλοντικά. Θα γίνονται όλο και αυστηρότεροι έλεγχοι όπως επίσης θα στενεύσουν και άλλο τα όρια καθώς θα εξελίσσεται και το τεχνολογικό επίπεδο της βιομηχανίας. Το κινεζικό κράτος έχει επενδύσει σε μεγάλο βαθμό στον κατάλληλο εξοπλισμό των πρασίνων τεχνολογιών για την προστασία του περιβάλλοντος. Η έρευνα πάνω στις εκπομπές των ραδιονουκλιδίων προσανατολίζεται στην ανάπτυξη ειδικής τεχνολογικής μεθόδου απόπλυσης που θα μειώνει τις τελικές εκπομπές ραδιενεργού Θορίου ενώ παράλληλα θα δίνεται η δυνατότητα παραγωγής σε αυξημένης καθαρότητας μεταλλεύματα (μεταλλεύματα πιο φιλικά προς το περιβάλλον και το κοινό).

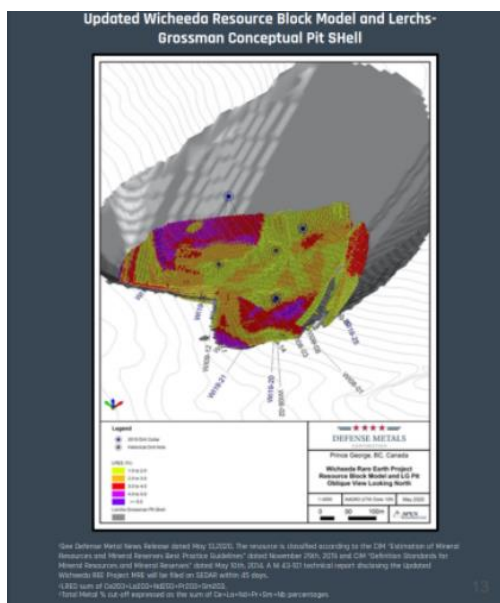
8.3.2. Παγκόσμια αντιμετώπιση

Η μεγάλη τεχνολογική εξάρτηση τις τελευταίες δεκαετίες από τις σπάνιες γαίες, αύξησε ραγδαία την εξόρυξή τους ανά τον κόσμο. Στην Μαλαισία ιστορικά εξορύσσονταν κοιτάσματα ξενοτίμιου, τα οποία περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε Ουράνιο (2%) και Θόριο (0,7%). Τα μεγάλα νούμερα στα επίπεδα της ραδιενέργειας ανάγκασαν την βιομηχανία σπανίων γαιών της Μαλαισίας να σταματήσει και να κλείσει τις μονάδες παραγωγής της. Υψηλά επίπεδα σε ραδιενεργά στοιχεία συναντούνται επίσης και στα κοιτάσματα του μοναζίτη. Στην Αυστραλία γίνεται επεξεργασία σε αμμώδεις εκτάσεις στις παραλίες, οι οποίες ήταν πλούσιες σε μοναζίτη. Η επεξεργασία όμως αυτή σταμάτησε και απαγορεύτηκε λόγω της υψηλής ραδιενέργειας του ορυκτού. Την ίδια τακτική ακολούθησαν η Κίνα και οι χώρες της Ευρώπης, για την πρόληψη πάντα των περιβαλλοντικών κινδύνων. Στην Γροιλανδία υπάρχει μεταλλείο πάνω στις ακτές που παράγει ως κύριο προϊόν κρυσλίτη, ενώ παράλληλα επεξεργάζεται και βαριές σπάνιες γαίες που είναι επικίνδυνες ως προς τον έλεγχο της τυχόν διασποράς τους στη θάλασσα.



Εικόνα 8.1. Το ορυχείο κρυσλίτη στο Ivittuut της Γροιλανδίας, πηγή: www.smallmcaps.com.au

Όλα τα υπάρχοντα κοιτάσματα σπανίων γαιών έχουν μια ορισμένη επικινδυνότητα, που οφείλεται στην ύπαρξη του Ουράνιου, του Θορίου και των προϊόντων διάσπασης τους. Παρόλα αυτά τα κοιτάσματα που υπάρχουν στην νότια Κίνα όπως και τα αποθέματα στην περιοχή Saskatchewan, είναι καθαρά και δεν περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία.



Εικόνα 8.2. Αποτύπωση του block model των αποθεμάτων στο Saskatchewan του Καναδά, πηγή: www.defensemetails.com

Υστέρη από μελέτες που έγιναν για λογαριασμό του Καναδικού υπουργείου άμυνας, αναφέρονται πως υπάρχουν καθαρά από ραδιενέργεια αποθέματα οξειδίων ελαφριών σπανίων γαιών με μέσο όρο αποθεμάτων μεταλλεύματος-στείρου 51,6%. Επίσης αναφέρεται ότι ο μέσος βαθμός ανάκτησής τους θα είναι 72,4% ενώ θα μπορεί να φθάσει και το 81,5%. Ενδιαφέρον είναι να δούμε ότι η τελική φάση των εργασιών θα επικεντρωθεί στη χρήση χαμηλότερων θερμοκρασιών για την ανάκτηση των σπανίων γαιών, μια κίνηση που θα μπορούσε ενδεχομένως να μειώσει τα λειτουργικά έξοδα της αντιοικονομικής έως σήμερα εξόρυξης.

Μια ομάδα ερευνητών (Kanazawa and Kanitani, 2006) πιστεύουν ότι στο σύνολο των χωρών είναι αναγκαίο να εξετάσουν αρχικά την γεωλογική δομή μιας περιοχής που πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εξόρυξη σπανίων γαιών, με σκοπό να αποφευχθούν οι ραδιενεργοί κίνδυνοι. Με αυτόν τον τρόπο θα μειωθεί η εξόρυξη των αποθεμάτων που είναι πλούσια σε ραδιονουκλεΐδια. Η σημασία που δίνεται και η αυστηρότητα των ελέγχων που διενεργούνται στα μεταλλεύματα σπανίων γαιών, εξαρτάται από την παρουσία Θορίου και Ουράνιου. Κάθε στάδιο της επεξεργασίας των REE πρέπει να ελέγχεται και διαχειρίζεται με μεγάλη προσοχή ώστε να αποφευχθεί απελευθέρωση ραδιενεργών απόβλητων.

Οι αυξημένοι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι αλλά και η αλληλεπίδραση της οικονομίας με τις σπάνιες γαίες, ανάγκασαν τις ΗΠΑ το 2002 να σταματήσουν τις εξορύξεις σπανίων γαιών οπου ξεκίνησαν μόλις το 1980. Το 2012 η εταιρεία Molycorp Minerals επανάφερε την εξορυκτική βιομηχανία σπανίων γαιών στο Όρος Mountain Pass της Καλιφόρνιας, με έναν ορίζοντα διάρκειας 30 ετών. Μια παραγωγή που φτάνει ετησίως τους 2.000 t. Ωστόσο υπάρχει περιβαλλοντική μέριμνα για την προστασία από τους κινδύνους που δημιουργούνται από τα ποσοστά Θορίου (0,02%) και Ουρανίου (0,002%) που περιέχονται στο ορυκτό μαστναζίτης. Πιο συγκεκριμένα εφαρμόζονται τα ακόλουθα μέτρα:

- Διαδικασίες ελέγχου από ειδική κρατική επιτροπή στα αποθέματα και στα απόβλητα (στερεά, υγρά και αέρια) της εξόρυξης που περιέχουν το μικρό ποσοστό ραδιονουκλιδίων
- Ειδική μέθοδος ανακύκλωσης του νερού που χρειάζεται για την διαδικασία του διαχωρισμού. Η χρήση της μεθόδου αποτελεί πρωτοβουλία της ίδιας της εταιρείας (Molycorp Minerals). Η διαδικασία αυτή στοχεύει στην μείωση της κατανάλωσης του νερού όπως και στην ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του υδρόβιου ορίζοντα της περιοχής
- Διαδικασία αποκατάστασης του επιβαρυσμένου νερού από τα κατάλοιπα της εξόρυξης και της επεξεργασίας των σπανίων γαιών. Η διαδικασία περιλαμβάνει διαδοχικούς χώρους εβαπόθεσης (λάκκους συγκράτησης λυμάτων) όπου τελικά θα εξατμίζεται το νερό. Επιπρόσθετα υπάρχουν και προγράμματα συντήρησης και αποκατάστασης των υπόγειων νερών της περιοχής μέσω ειδικού συστήματος
- Απόθεση επικινδύνων στερεών αποβλήτων σε ειδικούς χώρους υγειονομικής ταφής (X.Y.T.A.)
- Θέσπιση ειδικών εγκαταστάσεων μείωσης των αερίων ρύπων

Άλλη μια εκσυγχρονισμένη μεταλλευτική χωρά που ακολούθησε μια περιβαλλοντική πολιτική προς όφελος όλων είναι η Αυστραλία. Η εταιρεία Lynas που δραστηριοποιείται στο ορυχείο Όρος Weld, έχει προβεί σε μέτρα για την καλύτερη διαχείριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιφέρουν οι εξορύξεις των σπανίων γαιών. Το κυριότερο έργο για την πρόληψη των περιβαλλοντικών προβλημάτων είναι η έδρα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας του ορυχείου. Οι εγκαταστάσεις βρίσκονται 35 km μακριά από την κοντινή περιοχή. Επιπλέον το περιβαλλοντικό τοπίο δεν αλλάζει κατά πολύ καθώς οι εγκαταστάσεις εδράζονται σε έρημη περιοχή, ενώ η πιο κοντινή λίμνη βρίσκεται σε απόσταση λίγο μεγαλύτερη από 20 km. Παρόλα αυτά η εταιρία σε συνδυασμό με τους κρατικούς μηχανισμούς δεν σταμάτησε εκεί, άλλα έλαβαν και επιπλέον μέτρα, όπως:

- Τεχνικές μείωσης την εκπεμπόμενης σκόνης με σκοπό της διατήρησής της σε χαμηλά επίπεδα
- Απόθεση των υγρών καταλοίπων της εξόρυξης σε λάκκους συγκράτησης λυμάτων. Τελικός στόχος είναι η ανακύκλωση του νερού σε ποσοστό που προς το παρόν αγγίζει το 14%
- Συγκέντρωση των λυμάτων σε αποθηκευτικούς χώρους, με απώτερο σκοπό αυτοί να παραμείνουν αποκλεισμένοι και μετά το τέλος της εξόρυξης

Η τάση που ακολουθούν τα κράτη και οι εταιρίες που σχετίζονται με την εξόρυξη των σπανίων γαιών, βελτιώνεται με τα χρόνια. Η πολιτική αυτή συνεχίζει να εξελίσσεται συνεχώς ενώ παράλληλα με την πρόοδο της επιστήμης δημιουργούνται συνεχώς καλύτερες προϋποθέσεις για την αποτελεσματικότερη εξόρυξη και επεξεργασία των REE. Ως αποτέλεσμα έχουμε την δημιουργία ευνοϊκότερων συνθηκών για το περιβάλλον, με πιο φιλικές τακτικές προς αυτό και το κοινό.

9. Συμπεράσματα

Οι τρέχουσες οικονομοτεχνικές συνθήκες της εποχής μας άλλα και η τεράστια σημασία των σπανίων γαιών στην σύγχρονη εποχή (οι σπάνιες γαίες βρίσκουν εφαρμογή στις ψηφιακές τεχνολογίες, στην ιατρική, στα συστήματα άμυνας και πολλά άλλα), οδήγησαν στην εκτόξευσή τους στην διεθνή αγορά και το χρηματιστήριο. Τα τεχνολογικά θαύματα στα οποία συμβάλουν τα στοιχεία των σπανίων γαιών οδήγησαν σε εξαιρετικά υψηλή ζήτηση των μετάλλων αυτών και κατά συνέπεια σε πολλές περιπτώσεις και κατακόρυφη αύξηση των τιμών τους από χρονιά σε χρονιά.

Ο χαρακτηρισμός σπάνιες γαίες παρόλα αυτά μας ξεγελάει. Τα στοιχεία αυτά τα θεωρούμε σπάνια λόγω της δυσκολίας τους ως προς την εξόρυξη και απομόνωσή τους από τα ορυκτά, όχι ως προς την εμφάνισή τους στον φλοιό της γης. Τα γεωλογικά δεδομένα και οι μελέτες που έχουν γίνει απαντούν πως όχι μόνο δεν είναι σπάνιες αλλά πολλά στοιχεία της ομάδας των REE συναντώνται σε μεγαλύτερα αποθεματικά ποσοστά ακόμη και από τα πιο κοινά μέταλλα όπως για παράδειγμα ο Χαλκός(Cu). Μια ιδιαιτερότητα που υπάρχει, είναι ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχει παγκόσμια ορυχείο το οποίο να έχει ως ο κύριο προϊόν εξόρυξης τις σπάνιες γαίες. Η δυσκολία ως προς την συλλογή τους, καθιστά αντιοικονομική την εκμετάλλευση των REE, έτσι στην πλειοψηφία τους συλλέγονται ως δευτερεύον προϊόν στα ορυχεία και ακολουθεί στην σειρά εξόρυξης μέταλλα όπως ο Σίδηρος (Fe), ο Χαλκός (Cu) και τα θειούχα μεταλλεύματα.

Η αυξημένη και ανεξέλεγκτη πολλές φορές εξόρυξη των REE επέφερε επιβάρυνση του περιβάλλοντος και αυξημένο κίνδυνο στους οργανισμούς. Τα σημαντικά μεγέθη ρύπων (στέρεοι, υγροί και αέριοι) καθώς και τα επικίνδυνα ραδιονουκλεΐδια άρχιζαν να γίνονται ανεξέλεγκτα με τις εταιρίες να μην δείχνου ιδιαίτερο ζήλο στην διαχείρισή τους. Η εμφάνιση των ραδιονουκλεΐδιων από σπάνιες γαίες δεν οφείλεται αποκλειστικά από την ύπαρξη τους στα χημικά στοιχεία όλων των REE. Η έντονη

εμφάνιση της ραδιενεργής δραστηριότητας οφείλεται στην ύπαρξη τους στα ορυκτά των σπανίων γαιών και άλλων στοιχείων όπως το Θόριο αλλά και το Ουράνιο.

Η ύπαρξη των ραδιενεργών στοιχείων κατά την διαδικασία επεξεργασίας των σπανίων γαιών, αποτελεί ένα πολύ κρίσιμο γεγονός όσον αφορά στην επιβάρυνση του περιβάλλοντος και των οργανισμών. Κατά την διάρκεια της εξόρυξης και των εργασιών που γίνονται απελευθερώνεται σκόνη στην ατμόσφαιρα, η οποία είναι επιβλαβής σε πρώτο βαθμό στους εργαζόμενους και εν συνεχεία στην ευρύτερη περιοχή. Στο επόμενο στάδιο του εμπλουτισμού τα λύματα που παράγονται, αποβάλλονται στο περιβάλλον μετά το πέρας της επεξεργασίας δημιουργώντας ρύπους.

Είναι γεγονός πως πολλές περιοχές παγκόσμια έχουν υποφέρει και έχουν εξαφανιστεί από αυτού του είδους τη μεταλλευτική δραστηριότητα. Δημιουργήθηκαν αρκετά προβλήματα τόσο στο οικοσύστημα και την βλάστηση όσο και στο ίδιο τον άνθρωπο. Το μεγαλύτερο πρόβλημα το συναντάμε στην Κίνα. Η Κίνα αποτελεί την καρδιά της παγκόσμιας εξόρυξης σπανίων γαιών καθώς πέρα από ότι κατέχει το μεγαλύτερο ορυχείο παραγωγής σπανίων γαιών, κατέχει και το 80% των παγκοσμίων αποθεμάτων. Σημειώνεται ότι οι τιμές των REE αποτελούν ένα ασταθή παράγοντα της παραγωγής. Οι τιμές αυτές μεταβάλλονται σύμφωνα με την ζήτησή τους από την αγορά. Ωστόσο και πολιικά συμφέροντα κρατών, διαταράσσουν την σταθερότητα των τιμών στα οξείδια των σπανίων γαιών. Το αποτέλεσμα αυτό αποτυπώνεται στις τεράστιες διαφορές των τιμών που έχουν υπάρξει ακόμη και από μήνα σε μήνα.

Μεγάλες είναι οι καταστροφές που έχουν προκαλέσει οι ρύποι στην επικράτεια της χώρας της Κίνας, με τα οικοσυστήματα να δέχονται συνεχώς την πίεση από τα εργοστάσια παραγωγής των σπανίων γαιών. Η μόλυνση όμως δεν σταματά μόνο στην Κίνα καθώς και άλλες χώρες οι οποίες ασχολούνται με την εξόρυξη και την επεξεργασία σπανίων γαιών (Μαλαισία, Αυστραλία, ΗΠΑ, Ινδία) δεν κατάφεραν να περιορίσουν τα φαινόμενα αυτά.

Τα επικίνδυνα ραδιενεργά απόβλητα επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το νερό των περιοχών, την βλάστηση αλλά και τον αειφόρο ορίζοντα. Διαχρονικά τα κράτη και οι εταιρίες που διαχειρίζονταν την μεταλλευτική δραστηριότητα των σπανίων γαιών αδιαφορούσαν έχοντας άγνοια για του κινδύνους που ελλοχεύουν. Η εμφάνιση των προβλημάτων που έγινε ιδιαίτερα πιο εμφανής με το πέρασμα των ετών δημιούργησε εντόνους προβληματισμούς. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια ιδιαίτερη ευχάριστη κινητικότητα από τα κυρίαρχα κράτη. Υπάρχει ένας παγκόσμιος συντονισμός για την βέλτιστη οργάνωση τέτοιου είδους εξορύξεων, με σκοπό την μείωση της έντονης επιβάρυνσης του πλανήτη. Οι μηχανισμοί και οι πολιτικές προστασίας του έχουν θεμελιωθεί κατά τόπους, στοχεύουν κατά κύριο λόγο στην αποφυγή της έντονης έκθεσης του γενικού πληθυσμού στην ιονίζουσα ακτινοβολία. Παράλληλα αποσκοπούν στην μείωση των εκπομπών ραδιενέργειας στον έλεγχο των ρύπων. Τελικός στόχος είναι η αποκατάσταση μιας περιοχής μετά το πέρας της εξόρυξης σπανίων γαιών.

Η ανάγκη όμως για την εξέλιξη της τεχνολογίας έφερε και εξελίξεις στο κομμάτι της αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η αντιμετώπιση της μόλυνσης έγινε πιο διαχειρίσιμη, καθώς, η είσοδος της ανακύκλωσης των σπανίων γαιών επέφερε μια σταθεροποίηση στην αγορά και στα αποθέματα των στοιχείων. Αυτή η ισορροπία αποσκοπεί στην διαχείριση της τρέχουσας παραγωγής και αντιτίθεται στην ανεξέλικτη αύξηση των εξορύξεων στην οποία είναι αδύνατη η επιβολή αυστηρών περιβαλλοντικών μέτρων. Σήμερα πολλές εταιρίες υπενδύουν στην ανακύκλωση των σπανίων γαιών καθώς υπάρχει μεγαλύτερο περιβαλλοντικό κίνητρο αλλά κυρίως οικονομικό. Νέες τεχνικές και κατ' επέκταση κατοχυρωμένες μέθοδοι εμφανίζονται στο κλάδο για να τον ενισχύσουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. N. G. Connelly and T. Damhus, ed. (2005). *Nomenclature of Inorganic Chemistry: IUPAC Recommendations 2005*
2. Jackson, S., Schuler, R., Lepak, D. P., & Tarique, I. (2011). Human Resource Management Practice and Scholarship: A North American Perspective. In C. B. a. W. Mayrhofer (Ed.), *Handbook of Research in Comparative Human Resource Management*: Edward Elgar Publishing
3. Jin Long; Zhang YongGen; Tan WeiZhuo; Liu Wei, 2010. Effect of different treatment rapeseeds on activity of cellulose enzyme in sheep. *J. Northeast Agric. Univ.*, 17 (1): 57-61
4. Bhol Nath Bishan Dass vs The District Magistrate, ... on 23 September, 1958
5. Applications of rare earth elements in Geological Studies, a seminar presentation by Adeyinka & Solmon Adeola, University of Ilorin, January
6. Makiko Kitamura και Jason Scott (2010), "Toyota form task force on rare earth metals amid China export bare reports"
7. Cindy Hurst (March, 2010), "China's rare Earth Elements Industry: what can the West learn?", Institute for the Analysis of Global Security (IAGS)
8. Ramos, Silvio J .; Dinali, Guilherme S.; Oliveira, Cynthia; Martins, Gabriel C .; Moreira, Cristiano G .; Siqueira, José O .; Guilherme, Luiz RG (1 Μαρτίου 2016). *"Στοιχεία σπάνιας γης στο περιβάλλον του εδάφους"* (www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5575011/)
9. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry
10. CHEN Zhanheng (陈占恒) (*Academic Department, The Chinese Society of Rare Earths, Beijing 100081, China*). Received 24 December 2010; revised 17 January 2011
11. Lian, R., Stanway, D., 2011, China's Baotou Rare-Earth suspends facilities for one month, By Reuters, October 18.
[/http://www.reuters.com/article/2011/10/18/baotou-rareearth-idUSL3E7LI05120111018S](http://www.reuters.com/article/2011/10/18/baotou-rareearth-idUSL3E7LI05120111018S) (accessed 20.10.11).
12. Sun, Guangyi; Li, Zhonggen; Liu, Ting; Chen, Ji; Wu, Tingting; Feng, Xinbin (December 1, 2017). *"Rare earth elements in street dust and associated health*

- risk in a municipal industrial base of central China". *Environmental Geochemistry and Health*. 39 (6): 1469–1486
13. Rim, Kyung Taek; Koo, Kwon Ho; Park, Jung Sun (2013). "Toxicological Evaluations of Rare Earths and Their Health Impacts to Workers: A Literature Review". *Safety and Health at Work*. 4(1): 12–26
 14. Yang, Xiuli; Zhang, Junwei; Fang, Xihui (August 30, 2014). "Rare earth element recycling from waste nickel-metal hydride batteries". *Journal of Hazardous Materials*
 15. Papp, J.F., Bray, E.L., Edelstein, D.L., Fenton, M.D., Guberman, D.E., Hedrick, J.B., Jorgenson, J.D., Kuck, P.H., Shedd, K.B., Tolcin, A.C., 2008. Factors that influence the price of Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Rare Earth Elements, and Zn. Open-File Report 2008-1356. US Geological Survey, Reston, Virginia.
 16. Lee, Yoolim, "Malaysia Rare Earths in Largest Would-Be Refinery Incite Protest", Chao E. C. T., Back J. M., Minkin J., Tatsumoto M., Junwen W., Conrad J. E., McKee E. H., Zonglin H., Qingrun M. "Sedimentary carbonate-hosted giant Bayan Obo REE-Fe-Nb ore deposit of Inner Mongolia, China; a cornerstone example for giant polymetallic ore deposits of hydrothermal origin". 1997. United States Geological Survey. 29 February 2008. Bulletin 2143. *Bloomberg Markets Magazine*, May 31, 2011
 17. <https://wqchen.org/environmental-impacts-of-scandium-oxide-production-from-rare-earths-tailings-of-bayan-obo-mine/>
 18. www.nsenergybusiness.com/projects/bayan-obo-rare-earth-mine/#
 19. www.nsenergybusiness.com/projects/mt-weld-rare-earths-mine/#
 20. <https://ejatlas.org/conflict/bayan-obo-world-biggest-rare-earths-mine-baogang-group-baotou-inner-mongolia-china>
 21. www.mining-technology.com/projects/mountain-pass-rare-earth-mine-modernisation-project-california/
 22. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52011PC0593&from=EN>
 23. Sontag, Burke, & York, 1973; Spooner & Brown, 2011
 24. A report by the European Rare Earths competency network (ERECON),

25. Kara, H., Chapman, A., Crichton, T., Willis, P., Morley, N., 2010. Lanthanide Resources and Alternatives. Oakdene Hollins Ltd.—Research & Consulting. File reference number: DFT-01 205 issue2.doc.
26. ‘*STRENGTHENING THE EUROPEAN RARE EARTHS SUPPLY-CHAIN*’, Ref.Ares(2015)2544417 - 17/06/2015
27. E. Machacek & P. Kalvig ‘Development of a Sustainable Exploitation Scheme for Europe’s Rare Earth Ore Deposits, by EURARE, European REE market survey – Task 1.1.2’, 2017
28. www.geology.com
29. USGS Open-FileReport 2005-1219.
30. www.reuters.com/article/us-china-rareearths-idUSTRE6A13B520101102
31. www.lynascorp.com
32. [〈http://www.molycorp.com/Markets/GlobalOutlook.aspx〉](http://www.molycorp.com/Markets/GlobalOutlook.aspx) (accessed 04.06.12).
33. Metalpages, 2011–2012. [〈http://www.metalpages.com/metalprices/rareearths〉](http://www.metalpages.com/metalprices/rareearths)
34. Reuters, 2011. [〈http://www.reuters.com/finance/stocks/overview?blob=&symbol=600111.SS〉](http://www.reuters.com/finance/stocks/overview?blob=&symbol=600111.SS)
35. Roskill Information Services, 2011. Rare Earths & Yttrium: Market Outlook to 2015, 14th edition. [〈http://www.roskill.com/reports/minor-and-light-metals/rare-earths〉](http://www.roskill.com/reports/minor-and-light-metals/rare-earths)
36. British Geological Survey Rare Earth Elements BGS & NERC (Natural Environment Research Council) (2011)
37. Ghosh, P.R., 2010. First rare earth ETF begins trading today in New York. International Business Times, October 28.
38. mith, M.A., 2010. Rare Earth Minerals: The Indispensable Resource for Clean Energy Technologies. Molycorp Minerals—The Rare-Earth Company, Colorado Mining Association
39. www.arultd.com
40. www.smallcaps.com.au
41. www.defensemets.com

42. 'Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies', Stefania Massari, University of Salento, Faculty of Economics, Lecce, Italy August 2012, (
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420712000530>)
43. 'Separation of uranium and thorium from rare earths for rare earth production – A review', author links, Zhaowu Zhu, Yoko Pranolo Chu Yong & Cheng, Mineral Resources Flagship, Australia
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687515001028?casa_token=IGHuuK4fFDUAAAAA:tBwenru_WZwbl2GIwFUekEp2IHco5b3jzfZkh_d-03Yrg5sMTW7NeB7mUyebE5jI7ePU7pYA)
44. 'UNSCEAR (2000) United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation'. Report to the General Assembly. United Nations, New York
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-013-2814-2>)
45. Battenengel, A., Batnasan, A., Narankhii, A., Haga, K. Wananabe, W and Shibayama, A. (2018) 'Recovery of Light and Heavy Rare Earth Elements from Apatite Ore Using Sulphuric Acid Leaching, Solvent Extraction And Precipitation', Hydrometallurgy, Vol. 179, pp 100-109.
46. 'Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact', author links open overlay pane IV. Balaram, CSIR - National Geophysical Research Institute, India,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987119300258>)
47. 'Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements—Knowledge gaps and research prospects', author links open overlay panel, Giovanni Pagano, Marco Guida, Franca Tommasi & Rahime Oral,
48. Barakos et al., April 2018, 'An Outlook on the rare earth elements mining industry '
49. Gagen, P J , 1992, "Quarrying and the evolution of new landscapes", in Minerals, Metals and the Environment Institution of Mining and Metallurgy (Elsevier, London)
50. X. Wang, W. Jiang, P. Jiang, Y. Li, Z. Feng, J. Xu Construction and immunogenicity of recombinant adenovirus expressing the capsid protein of porcine circovirus 2 (PCV2) in mice Vaccine, 24 (2006)
51. Sabbioni et al., 1982 , McDonald et al., 1995 , Yoon et al., 2005 , Rim, 2017).

52. W. Gwenzi, N. Chaukura, C. Noubactep, F.N.D. Mukome Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision J. Environ. Manag., 197 (2017)
53. K. Soldenhoff, D. Wilkins, M. Shamieh, A. Manis **Mini-plant testing of uranium solvent extraction process for acid leach liquors containing chloride** 17th International Solvent Extraction Conference, ISEC, Beijing, China (2013)
54. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718314128>
55. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2677>
56. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687512003597>
57. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07366299.2013.775891>
58. Anon., 2012 , Chakhmouradian and Wall, 2012 , Binnemans et al., 2013 , Haque et al., 2014 , Xie et al., 2014
59. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2300396016300179>
60. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2093791113410028>
61. <https://www.researchgate.net/publication/235452012> Rare Earth Minerals and Resources in the World
62. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/ta/c7ta01027c/unauth#!divAbstract>
63. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adma.200502540>
64. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-48138-8_3
65. <https://aasldpubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hep.24748>
66. <https://ascopubs.org/doi/full/10.1200/JOP.2015.004036>
67. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993615300042>
68. [https://resource-recycling.com/e-scrap/2018/04/26/apple-rolls-out-robot-for-iphone-dismantling/.](https://resource-recycling.com/e-scrap/2018/04/26/apple-rolls-out-robot-for-iphone-dismantling/)
69. ‘Review of the World Market of Rare-Earth Metals’, A. V. Naumov, Russia 2008
70. Applicatios of Rare Earth Elements in geological studies a seminar presentasion by Adeyinka, Solomon Adeola University of Ilorin Supervisor: DR. O.A. Adekeye January, 2016
71. https://www.youtube.com/watch?v=t_UdqZdFr-w&feature=emb_title
72. www.googleearth.com
73. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/rare-earth-elements-market>
74. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/rare-earth-elements-market>
75. www.commonswikimedia.org
76. https://www.ibm.com/annualreport/assets/downloads/IBM_Annual_Report_2018.pdf
77. <https://www.iaea.org/publications/reports/annual-report-2011>

