

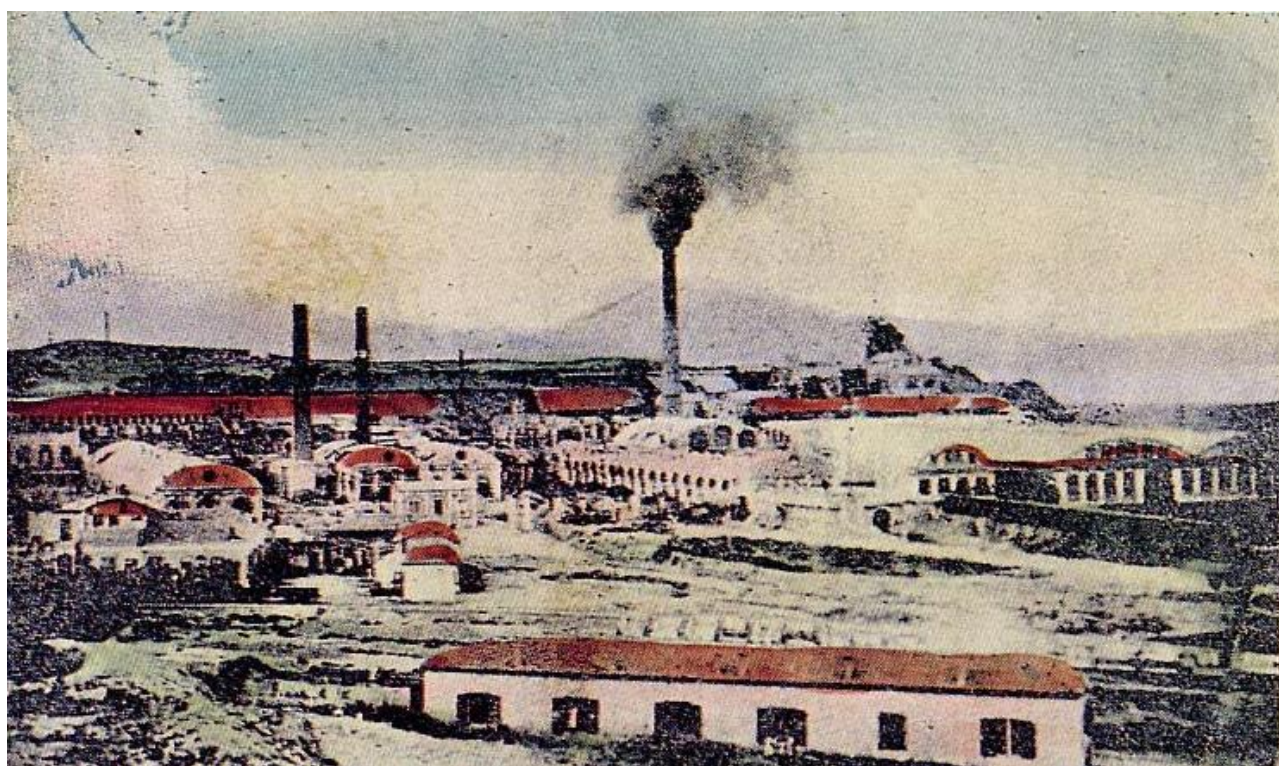


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΑΜΒΡΟΣΙΟΣ Ρ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ
ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΕΛΦΟΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017





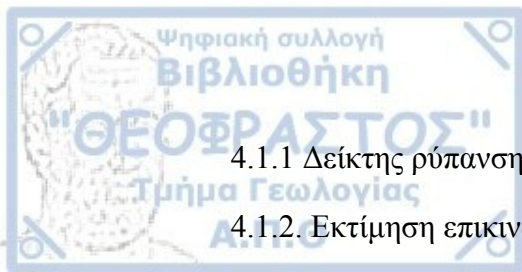
Σωστή Πλεύση προς το Μετά από το Τώρα
δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς γνώση του Πριν.

Η.Λ. Τσατσομοίρος
(Αιγαίο Βουνό, Αθήνα 1981)



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Πρόλογος.....	1
2. Γενικά στοιχεία	3
2.1 Συνέπειες από την εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου	3
2.1.1 Μεταλλευτικά απόβλητα και επιπτώσεις στο περιβάλλον	3
2.1.2 Τοξικά βαρέα μέταλλα και επιπτώσεις στην υγεία.....	4
2.2 Γεωλογία Λαυρεωτικής και μεταλλογένεση.....	7
2.2.1 Γεωλογία.....	7
2.2.2 Μεταλλογένεση	10
2.2.3 Χημισμός μητρικών πετρωμάτων.....	12
2.3 Ιστορική αναδρομή της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων του Λαυρίου	13
2.3.1. Εξορύξεις της αρχαιότητας.....	13
2.3.2. Σύγχρονη εκμετάλλευση.....	14
3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην Λαυρεωτική χερσόνησο	16
3.1 Γενικά.....	16
3.2 Γεωχημικοί Χάρτες Λαυρεωτικής	18
3.3 Μεταλλουργικά απόβλητα Λαυρίου	22
3.3.1 Οι σκουριές του Λαυρίου	25
3.4. Γεωγραφική κατανομή και συγκεντρώσεις μολύβδου και αρσενικού.....	25
3.5. Επιπτώσεις στην υγεία και βιοδιαθεσιμότητα	28
3.5.1. Βιοδιαθεσιμότητα	29
3.6. Υπόγεια νερά και θαλάσσια ιζήματα	31
4. Προτάσεις για το μέλλον	32
4.1 Περιβαλλοντική αποκατάσταση	33



4.1.1 Δείκτης ρύπανσης.....	34
4.1.2. Εκτίμηση επικινδυνότητας/έκθεσης	35
4.1.3 Κόστος, όφελος και μέθοδοι αποκατάστασης	37
5. Συμπεράσματα	39
6. Βιβλιογραφία	42

Το Λαύριο βρίσκεται στο ανατολικότερο μέρος της Αττικής και της Λαυρεωτικής χερσονήσου, περίπου 40 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά της Αθήνας και έχει πληθυσμό περίπου 10.000 κατοίκους. Παίρνει το όνομά του από την αρχαία λέξη λαύρα που σημαίνει στενό πέρασμα και μεταλλευτική στοά. Από αρχαιότατους χρόνους προσέλκυσε το ενδιαφέρον των πολιτισμένων λαών λόγω των κοιτασμάτων μολύβδου και αργύρου, η εξόρυξη των οποίων ξεκίνησε πριν από τουλάχιστον 5.000 χρόνια.

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως αντικείμενο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέκυψαν από την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων, από τις αρχαίες μέχρι τις σύγχρονες εξορύξεις, οι οποίες ήταν και κατά πολύ επιβλαβέστερες για το φυσικό περιβάλλον.

Σκοπός της εργασίας είναι η συλλογή και η σύνθεση στοιχείων διαφόρων εργασιών και μελετών και μια σφαιρική ανάπτυξη κάθε πτυχής του θέματος.

Οι πληροφορίες αφορούν:

- Την ιστορική αναδρομή της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων στο Λαύριο.
- Την Γεωλογία και τον μηχανισμό γένεσης των μετάλλων.
- Τις επιπτώσεις που προέκυψαν από την εκμετάλλευση στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων, ζώων και φυτών.
- Την έκταση και ένταση της ρύπανσης και της περιβαλλοντικής καταστροφής.
- Προτάσεις για το μέλλον και την περιβαλλοντική αποκατάσταση της περιοχής.

Επίσης, καθώς με αυτήν την εργασία τελειώνει και η ακαδημαϊκή σταδιοδρομία μου, τουλάχιστον σε προπτυχιακό επίπεδο, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Γεωλογικού τμήματος του Α.Π.Θ. για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν, για την όρεξη και προσπάθειά τους να κάνουν εμάς τους φοιτητές να αγαπήσουμε κι εμείς την Γεωλογία και την Επιστήμη όπως αυτοί και για την πραγματοποίηση των ασκήσεων υπαίθρου που μας φέρνουν πιο κοντά στο αντικείμενο αλλά και μεταξύ μας.

Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Αλέξανδρο Δημητριάδη, διδάκτορα Γεωχημείας, για το μεγάλο περιβαλλοντικό και ερευνητικό έργο του για το Λαύριο. Η πληθώρα εργασιών και μελετών του για το ζήτημα του Λαυρίου μου παρείχε πλούσιο υλικό και πληροφορίες για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλη Μέλφο, επίκουρο καθηγητή του τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, για την ανάθεση του θέματος, την καλή



επικοινωνία μεταξύ μας, τις συμβουλές και την βοήθειά του για την εκπλήρωση της εργασίας.

2. Γενικά στοιχεία

2.1 Συνέπειες από την εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ορυκτών πόρων λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της κοινωνίας μας οδηγεί σε όλο και περισσότερες εξορύξεις πετρωμάτων ή ορυκτών καυσίμων. Οι ανθρώπινες αυτές επεμβάσεις (εξορύξεις) ρυπαίνουν το περιβάλλον σε βαθμό πολύ μεγαλύτερο από ότι οι φυσικές διεργασίες και έχουν σημαντικές επιπτώσεις.

2.1.1 Μεταλλευτικά απόβλητα και επιπτώσεις στο περιβάλλον

Μια εξορυκτική δραστηριότητα εκτός από την διαταραχή της τοπογραφίας και υποβάθμισης της αισθητικής στην περιοχή της εκσκαφής μπορεί να επιδράσει στο έδαφος, τα ύδατα και την ατμόσφαιρα στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και στην ισορροπία του οικοσυστήματος. Ο κύριος παράγοντας ρύπανσης είναι τα μεταλλευτικά απόβλητα τα οποία μπορεί να είναι στερεά, υγρά ή αέρια και συνήθως τοξικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις, πολύ επιβλαβή συνεπώς για την υγεία των ανθρώπων, φυτών και ζώων προκαλώντας ασθένειες ή και θάνατο. Τα απόβλητα προκύπτουν είτε άμεσα από την εξόρυξη είτε από τις διαδικασίες μεταποίησης του μεταλλεύματος που ακολουθούν (π.χ. εμπλουτισμός με επίπλευση, τήξη μεταλλουργίας) για την παραγωγή του τελικού προϊόντος (Φιλιππίδης 2006).

Πιο συγκεκριμένα τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι (Φιλιππίδης 2006):

A) Η όξινη απορροή μεταλλείων η οποία προκαλείται από την οξείδωση των μεταλλικών ορυκτών και είναι συνήθως εντονότερη στα θειούχα. Με την έκθεσή τους στις επιφανειακές συνθήκες και την χημική αποσάθρωση από το νερό, τον αέρα και τα οξειδωτικά βακτήρια τα μεταλλικά ορυκτά οξειδώνονται και παράγεται, ανάλογα με την ορυκτολογική σύσταση, θειικό οξύ και κατιόντα μετάλλων. Αυτά τα όξινα διαλύματα αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μολύνουν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά στην ευρύτερη περιοχή της εξόρυξης.

B) Τα στερεά απόβλητα όπως τα μάζα εκμετάλλευσης, τα τέλματα επίπλευσης κ.ά. αποτελούν πηγές ρύπανσης αν δεν γίνει σωστή διαχείριση και απόθεσή τους. (π.χ. οι σκωρίες στα μεταλλεία του Λαυρίου)

Γ) Τα υγρά απόβλητα δηλαδή τα νερά των μεταλλείων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον πρέπει πρώτα να συλλέγονται, να υπόκεινται σε έλεγχο (οξύτητας, περιεκτικότητας σε μέταλλα κ.ά.) και να κατεργάζονται αναλόγως. Σε αντίθετη περίπτωση αποτελούν πηγές ρύπανσης. (π.χ. κυανιούχα απόβλητα μεταλλείων χρυσού).

Δ) Τα αέρια απόβλητα έχουν να κάνουν κυρίως με την διαδικασία μεταποίησης των μεταλλευμάτων κατά την οποία εκπέμπονται διαφόρων λογής ρύποι στην ατμόσφαιρα. Όπως π.χ. από την καύση υδρογονανθράκων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκπέμπεται

CO₂ και, ανάλογα με την περιεκτικότητα τους σε θείο, SO_x και NO_x τα οποία σχετίζονται με τα φαινόμενα του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής αντίστοιχα. Επίσης πολύ σημαντικούς ρόλους αποτελούν τα τοξικά ιχνοστοιχεία όπως το αρσενικό, ο μόλυβδος, το κάδμιο, το νικέλιο κ.ά. καθώς έχουν πολύ σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία του ανθρώπου, οι οποίες εξετάζονται παρακάτω.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της εξόρυξης και της μεταποίησης του μεταλλεύματος καθώς και η σωστή διαχείριση των μεταλλευτικών-μεταλλουργικών αποβλήτων.

2.1.2 Τοξικά βαρέα μέταλλα και επιπτώσεις στην υγεία

Είναι αλήθεια ότι πολλά ιχνοστοιχεία και μέταλλα (π.χ. ο σίδηρος για τον άνθρωπο) σε μικρές ποσότητες είναι απαραίτητα για την σωστή λειτουργία των οργανισμών (ανθρώπων, φυτών και ζώων), αλλά σε υπερεπάρκεια γίνονται τοξικά (Χατζηγεωργίου 1998). Οι περιεκτικότητες τους στο περιβάλλον κυμαίνονται από τόπο σε τόπο και εξαρτώνται από την γεωλογία. Έτσι σε μεταλλοφόρες περιοχές είναι φυσιολογικό να παρατηρούνται υψηλά ποσοστά μετάλλων λόγω των φυσικών διεργασιών (διάβρωση, μεταφορά κ.ά.), η υπερεπάρκεια-τοξικότητά τους όμως οφείλεται κυρίως ή/και επισπεύδεται δραματικά από τις μεταλλευτικές-μεταλλουργικές δραστηριότητες. Άλλα ιχνοστοιχεία και μέταλλα είναι καθαρά τοξικά και ιδιαίτερα επικίνδυνα για την υγεία ακόμα και σε πολύ χαμηλές ποσότητες όπως ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd) και ο ψευδάργυρος (Hg).

Θα αναφερθούμε επιγραμματικά στις συνέπειες μερικών βαρέων μετάλλων, κυρίως αυτών που αφορούν την περίπτωση του Λαυρίου, στην υγεία του ανθρώπου (Πληροφορίες από Χατζηγεωργίου 1998 και Demetriades 2010). Δίνεται έμφαση στον μόλυβδο και το αρσενικό γιατί είναι τα πιο διαδεδομένα και επιβλαβή για τους κατοίκους της περιοχής.

Μόλυβδος (Pb): Αν και σε κάποια ζώα είναι χρήσιμος σαν ιχνοστοιχείο, για τον άνθρωπο είναι από τα τοξικότερα βαρέα μέταλλα ακόμα σε μικρές ποσότητες. Ήδη από τους αρχαίους χρόνους είχαν παρατηρηθεί οι συνέπειες της δηλητηρίασης από μόλυβδο (μολυβδίασης), ιδιαίτερα στους εργάτες μεταλλείων και μεταλλουργείων. Σε περίπτωση εισπνοής του το 35-50% απορροφάται απευθείας στο αίμα και στην συνέχεια μπορεί να περάσει στον μαλακό ιστό (νεφρά, μυελό των οστών, συκώτι και εγκέφαλο) ή στον σκληρό (οστά και δόντια) πριν αποβληθεί από το σώμα. Αν βρεθεί σε υψηλά ποσοστά στον ανθρώπινο οργανισμό διαταράσσει το αιμοποιητικό και νευρικό σύστημα, προκαλεί αναιμία, ελάττωση της βιταμίνης D, του ασβεστίου και του φωσφόρου και μπορεί να προκαλέσει πνευματική καθυστέρηση.

Τα παιδιά είναι ιδιαίτερα επιρρεπή στην προσβολή από μόλυβδο διότι έρχονται συχνά σε επαφή με το χώμα και την σκόνη των σπιτιών. Επίσης διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο καθώς μπορεί να προκληθούν μόνιμες βλάβες ακόμα και από χαμηλή προσβολή όπως:

- Βλάβες στο νευρικό σύστημα και στο ήπαρ.
- Μαθησιακή δυσκολία, διατάραξη προσοχής και μειωμένη ευφυΐα
- Προβλήματα στην ομιλία, στην γλώσσα και στην συμπεριφορά
- Κακός μυϊκός συντονισμός
- Μειωμένη μυϊκή και σκελετική ανάπτυξη
- Προβλήματα ακοής

Από υψηλού επιπέδου προσβολή οι συνέπειες μπορεί να είναι κρίσιμες όπως κρίσεις, αναισθησία ακόμα και θάνατος.

Εκτός από τα παιδιά η έκθεση στον μόλυβδο είναι επικίνδυνη και για τους ενήλικες. Μπορεί να προκαλέσει:

- Αυξημένη πιθανότητα αρρώστιας κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης
- Βλάβες στο έμβρυο ή και θάνατό του
- Στείρωση
- Υψηλή αρτηριακή πίεση
- Προβλήματα πέψης
- Νευρική διαταραχή
- Προβλήματα μνήμης και συγκέντρωσης
- Μυϊκό και αρθρικό πόνο

Αρσενικό (As): Σε μικροσκοπικές ποσότητες είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο για κάποιους οργανισμούς, ακόμα και για τους ανθρώπους. Σε μεγάλες όμως είναι ιδιαίτερα τοξικό και μπορεί να προκαλέσει τερατογένεση. Η τοξικότητά του εξαρτάται σημαντικά από το σθένος του, το τρισθενές αρσενικό είναι το πιο τοξικό και το συνηθέστερο στη φύση. Η πρόσληψη μεγάλης ποσότητας αρσενικού προκαλεί γαστροεντερικές διαταραχές, διάρροια και απώλεια αίματος, τις οποίες ακολουθεί καταστροφή τριχοειδών αγγείων και φλεγμονή στο έντερο. Αποτέλεσμα της γρήγορης απώλειας υγρών είναι η δυσκολία κυκλοφορίας του αίματος, η οποία αν δεν αντιμετωπιστεί μπορεί να οδηγήσει στον θάνατο. Επίσης η εισπνοή αρσενικών ενώσεων προκαλεί δύσπνοια, φλεγμονή και καρκίνο των πνευμόνων.

Η χρόνια έκθεση στο αρσενικό μπορεί να προκαλέσει απώλεια ενέργειας, διάρροια ή δυσκοιλιότητα καθώς και χρώση, ξεφλούδισμα μέχρι και καρκίνο του δέρματος. Επίσης μπορεί να προκαλέσει νευροπάθειες, παράλυση και αναιμία.

Το αρσενικό λαμβάνεται από τον άνθρωπο σε μικρές ποσότητες και οργανική μορφή κυρίως από τις θαλασσινές τροφές αλλά σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι βλαβερό. Αφού περάσει στο αίμα συσσωρεύεται στα μαλλιά και τα νύχια ή αποβάλλεται με τα ούρα.

Χαλκός (Cu): Είναι ένα αρκετά διαδεδομένο χημικό στοιχείο στην Γη (0,01% στον φλοιό) και απαραίτητο για τα ζώα και φυτά καθώς μετέχει στον μεταβολισμό, σε υπερεπάρκεια όμως είναι τοξικός. Απορροφάται είτε γαστρεντερικά είτε αναπνευστικά, έτσι αποτελεί κίνδυνο σε περιοχές εκμετάλλευσής του καθώς μπορεί να μεταφερθεί ως σκόνη με τον αέρα. Αφού περάσει στο αίμα μεταφέρεται στο συκώτι ή σε άλλα ζωτικά όργανα όπως η καρδιά, ο εγκέφαλος, τα νεφρά και οι μυς. Η χρόνια έκθεση σε υψηλά ποσοστά χαλκού μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερικές, αναπνευστικές, νευρολογικές καθώς και αιματολογικές διαταραχές.

Ψευδάργυρος (Zn): Είναι επίσης διαδεδομένος στον στερεό φλοιό της Γης (0,012%) και θεωρείται από τα ήπια βαρέα μέταλλα. Είναι και αυτός απαραίτητος για τον ανθρώπινο οργανισμό αλλά σε μεγάλη περιεκτικότητα τοξικός. Απορροφάται γαστρεντερικά, αναπνευστικά ή δερματικά. Υπερβολική πρόσληψή του προκαλεί γαστρεντερικές-αναπνευστικές διαταραχές, ναυτία, πονοκέφαλο, δερματίτιδα και υποχρωμική αναιμία.

Κάδμιο (Cd): Είναι πολύ τοξικό μέταλλο και προκαλεί θάνατο διαφόρων αιτιών. Συσσωρεύεται με τα χρόνια στα νεφρά στα οποία προκαλεί βλάβες, ασθένειες ή και καρκίνο. Επίσης ευθύνεται για καρδιαγγειακές και παθήσεις των οστών καθώς και των πνευμόνων εάν εισπνέεται. Η χρόνια έκθεση του ανθρώπου σε περιβάλλον όπου ο αέρας περιέχει πάνω από $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ κάδμιο, κάτι που μπορεί να συμβεί σε περιοχές εκμετάλλευσης κοιτασμάτων Zn-Pb όπου τα εδάφη είναι πλούσια σε κάδμιο, καταστρέφει τα νεφρά.

Υδράργυρος (Hg): Είναι τοξικό στοιχείο το οποίο βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στη φύση. Ωστόσο οι μεταλλευτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καθώς και η χρήση του στην γεωργία ως μηκυτοκτόνο εμπλουτίζουν και μολύνουν τα εδάφη και τα ύδατα με υδράργυρο. Συνεπώς κυρίως μέσω της τροφής προσλαμβάνεται και δηλητηριάζει τον άνθρωπο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι οργανικές του ενώσεις απορροφούνται πιο εύκολα και είναι πιο τοξικές από τις ανόργανες. Η πρόσληψη υδραργύρου μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο νευρικό και καρδιαγγειακό σύστημα. Ιδιαίτερα επιβλαβής είναι ο μεθυλ-υδράργυρος (CH_3Hg^+) ο οποίος προκαλεί βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα και τερατογενέσεις.

2.2 Γεωλογία Λαυρεωτικής και μεταλλογένεση

2.2.1 Γεωλογία

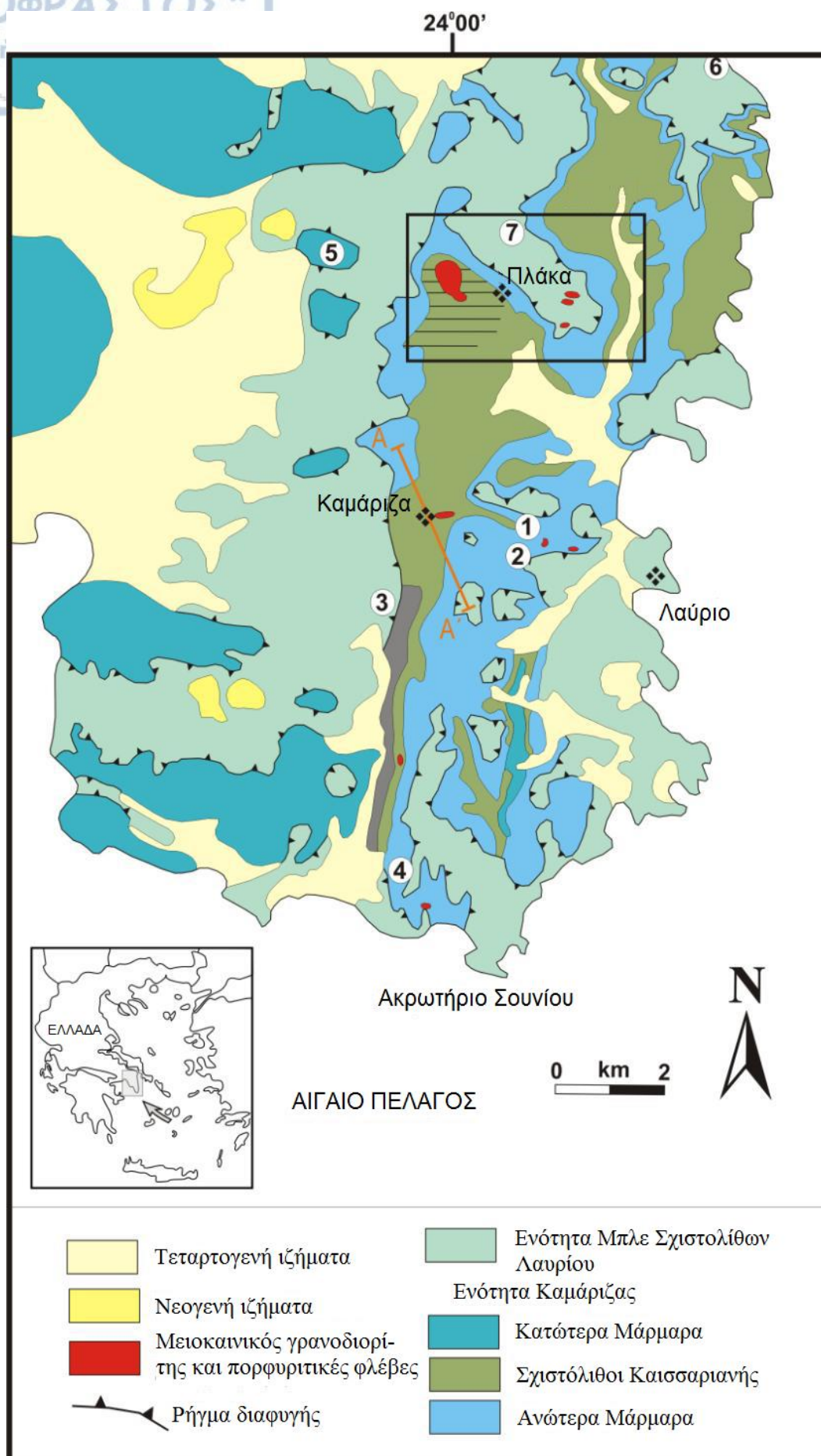
Η Λαυρεωτική ανήκει στην Αττικοκυκλαδική Ζώνη η οποία χαρακτηρίζεται ως μια πολυμεταμορφική ετερογενής μάζα στο Αλπικό ορογενές των Ελληνίδων (Bröcker and Keasling 2006). Αυτή αποτελείται από δύο μεγάλες τεκτονικές ενότητες, την ανώτερη και την κατώτερη, στις οποίες οι Katzir et al. (2007) και Bröcker and Pidgeon (2007) αναφέρονται ως *Ανώτερη Κυκλαδική Ενότητα* και *Ενότητα Κυανοσχιστολίθων Κυκλαδικής* αντίστοιχα, αμφότερες με μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας (HP/LT) (Ring et al. 2001). Σύμφωνα με αυτούς τους μελετητές αποτελούν διαμελισμένα τμήματα των τεκτονικών καλυμμάτων που σχηματίστηκαν κατά την διάρκεια των πολλαπλών γεγονότων σύγκρουσης της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής πλάκας (αλλόχθονες ενότητες) και υπέρκεινται μιας αυτόχθονης ενότητας που ονόμασαν *Ενότητα Βάσης*.

Στον χώρο του Λαυρίου εντοπίζονται κυρίως δύο τεκτονικές ενότητες (Σχ. 1): η *Ενότητα Καμάριζας* (Ενότητα Βάσης) και η *Ενότητα Κυανοσχιστολίθων Λαυρίου* τοποθετημένη τεκτονικά επάνω στην προηγούμενη (Σχ. 2), οι οποίες υπόκεινται των αμεταμόρφωτων πετρωμάτων της Πελαγονικής Ζώνης (Marinos and Petrascheck 1956, Photiades and Saccani 2006). Η *Ανώτερη Κυκλαδική Ενότητα* έχει πολύ περιορισμένη εμφάνιση στην περιοχή οπότε δεν θα αναφερθούμε περαιτέρω σε αυτήν.

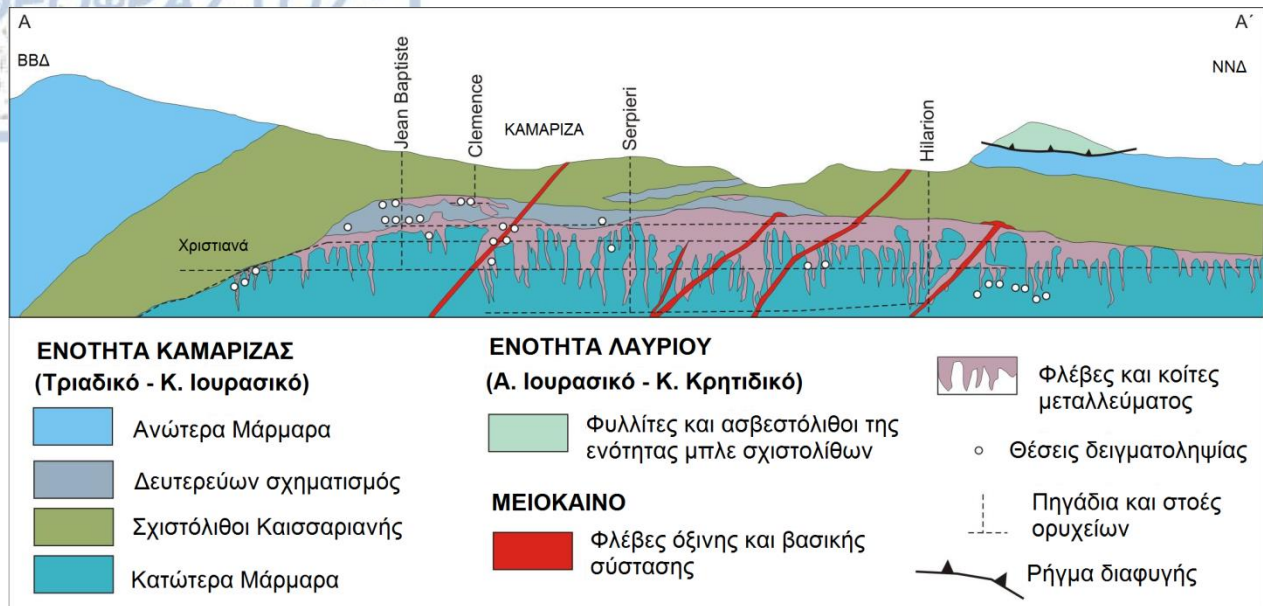
Η *Ενότητα Καμάριζας* περιλαμβάνει δύο σχηματισμούς μαρμάρων του Α.Τριαδικού-Κ.Ιουρασικού, τα Ανώτερα και τα Κατώτερα Μάρμαρα (με πάχη στα 500 και 150 μ. αντίστοιχα). Ενδιάμεσα τους βρίσκονται οι Σχιστόλιθοι Καισαριανής με πάχος 300 μ., εναλλασσόμενοι με φακούς μαρμάρων και μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Η *Ενότητα Κυανοσχιστολίθων* ή τοπικά *Ενότητα Λαυρίου*, αποτελείται από υψηλής πίεσης/χαμηλής θερμοκρασίας μεταπηλίτες, χλωριτικούς σχιστολίθους ($\pm$ γλαυκοφανής), μεταψαμμίτες και ασβεστολίθους.

Αυτές οι δύο ενότητες χωρίζονται από ένα ρήγμα αποκόλλησης (detachment) πολύ μικρής γωνίας κλίσης (υπο-οριζόντιο) και το οποίο αποτελεί και την κυρίαρχη τεκτονική δομή στο χώρο του Λαυρίου και χαρακτηρίζεται από μυλωνιτικές ζώνες. Το τεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού του φαίνεται να ήταν η οπισθοτόξια έκταση του Μειοκαίνου, που είναι εμφανής στον χώρο του Αιγαίου. Οι κινηματικοί δείκτες των πετρωμάτων μάλιστα δείχνουν NNΔ διεύθυνση διάτμησης συνδέοντας το με το Σύστημα Αποκόλλησης των Δυτικών Κυκλάδων (Western Cycladic Detachment System) (Grasemann et al. 2012).



Σχ.1. Γεωλογικός χάρτης της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Marinos and Petraschek 1956, Voudourtis et al. 2008b, Voudouris and Melfos 2014).



Σχ.2. Γεωλογική τομή της περιοχής της Καμάριζας (Marinos and Petraschek 1956, Voudourtis et al. 2008b, Voudouris and Melfos 2014).

Αποτέλεσμα αυτής της έκτασης στο Μειόκαινο ήταν να διεισδύσουν μαγματικά πετρώματα στον ανώτερο φλοιό όπως ο γρανοδιορίτης της Πλάκας ο οποίος διεισδύει στην κατώτερη τεκτονική *Ενότητα Καμάριζας*, έχει πορφυριτικό ιστό και ελάχιστη ηλικία 9,4-8,3 εκ. χρόνια (Α.Μειόκαινο) (Marinos 1971, Altherr et al. 1982, Skarpelis et al. 2008, Voudouris et al. 2008a, Bonsall et al. 2010). Η ορυκτολογική του σύσταση είναι πλαγιόκλαστο, ορθόκλαστο, βιοτίτης, χαλαζίας και κεροστίλβη με επουσιώδη απατίτη, τιτανίτη και ζirkόνιο. Επίσης φλέβες πορφυριτικού γρανοδιορίτη καθώς και συγγενείς δακτιτικές-ανδρεσιτικές φλέβες και κοίτες διεισδύουν στον πλουτωνίτη και στα μεταμορφωμένα πετρώματα, έχουν αντίστοιχη ηλικία και προήρθαν από κοινή μαγματική πηγή. Σύμφωνα μάλιστα με τα αερομαγνητικά δεδομένα των Marinos and Makris (1975) και Tsokas et al. (1998) για την Λαυρεωτική φαίνεται σε μεγάλο βάθος η ύπαρξη ενός βαθύλιθου μεγάλης έκτασης στην περιοχή της Πλάκας.

Μια εκτεταμένη άλως μεταμόρφωσης επαφής αποτελούμενη από ασβεστο-πυριτικούς κερατίτες εμφανίζεται στο όριο της διείσδυσης του γρανοδιορίτη της Πλάκας κατά μήκος της επαφής του με τους Σχιστολίθους της Καισαριανής (Σχ. 3). Οι κερατίτες αποτελούνται από επίδοτο, γρανάτη, κλινοπυρόξενο, ανορθίτη, καλιολιούχο άστριο, πλαγιόκλαστο, χλωρίτη, ασβεστίτη, χαλαζία, τιτανίτη και απατίτη. Σύμφωνα με τον Baltatzis (1981) η εκτιμώμενη πίεση της μεταμόρφωσης επαφής έφθασε τα 1.0-1.5 kb σε θερμοκρασίες μεταξύ 440-600 °C σε ένα πλούσιο σε νερό ρευστό με χαμηλή μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα (PCO₂).



Σχ.3. Γεωλογικός σχηματικός χάρτης της περιοχής της Πλάκας (Papanikolaou and Syskakis 1991, Voudouris et al. 2008a, Voudouris and Melfos 2014).

2.2.2 Μεταλλογένεση

Τουλάχιστον πέντε τύποι υδροθερμικών κοιτασμάτων σουλφιδίων έχουν παρατηρηθεί στον ευρύτερο χώρο της Λαυρεωτικής: α) *πορφυρικού τύπου* με μολυβδαινίτη, β) *λατυποπαγούς τύπου* μεταλογένεσης βάσης (*breccia-style base metal mineralization*), γ) *τύπου skarn* χαλκού-σιδήρου (Cu-Fe), δ) *φλεβικού τύπου* μολύβδου-ψευδαργύρου-αργύρου (Pb-Zn-Ag) και ε) *ανθρακικής αντικατάστασης* (Pb-Zn-Ag). Επίσης η εκτεταμένη οξείδωση και ανακατανομή των χημικών στοιχείων των πρωτογενών κοιτασμάτων οδήγησε στον σχηματισμό μιας εκτεταμένης ζώνης υπεργενών (δευτερογενών) κοιτασμάτων (Marinos and Petrascheck 1956, Voudouris et al. 2008a,b, Bonsall et al. 2010).

Οι τρεις πρώτοι τύποι σχετίζονται χωρικά και γενετικά με τον γρανοδιορίτη της Πλάκας και αποτελούν ένα σχετικό με διείσδυση σύστημα μεταλλογένεσης (invasion-related ore system) (Voudouris et al. 2008a). Αυτό αποτελεί και το **πρώτο στάδιο** της γένεσης των κοιτασμάτων στο Λαύριο. Βρίσκονται όλα στην περιοχή της Πλάκας, είτε μέσα στο μαγματικό σώμα είτε περιφερειακά του.

Ο τέταρτος και ο πέμπτος τύπος εντοπίζονται τόσο κοντά όσο και μακριά από τον γρανοδιορίτη της Πλάκας καθώς και κοντά σε όξινης και βασικής σύστασης φλέβες. Καθώς οι δύο τύποι κοιτάσματος έχουν παρόμοια παραγένεση, χημική σύσταση και τρόπο σχηματισμού πρέπει να δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα και από το ίδιο ρευστό ή από κοινή πηγή. Σε σύγκριση με τα κοιτάσματα της Πλάκας σχετικά με την ορυκτολογία και χαρακτηριστικά των ρευστών εγκλεισμάτων προκύπτει ότι τα δύο υδροθερμικά συστήματα

είναι διαφορετικά και πιθανότατα σχετίζονται με δύο διαφορετικά μαγματικά γεγονότα (Voudouris et al. 2008b, Bonsall et al. 2011). Για τους λόγους αυτούς θεωρείται ότι αποτελούν το **δεύτερο στάδιο** της μεταλλογένεσης. Αυτά τα κοιτάσματα παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο οικονομικό ενδιαφέρον στην Λαυρεωτική και βρίσκονται σε διάφορες θέσεις όπως το Σούνιο και τα Μεγάλα Πεύκα, αλλά τα σημαντικότερα είναι στην Καμάριζα αν και η μεγαλύτερη φλέβα (η φλέβα Φιλόνη 80 με >1 χμ. μήκος και 2 μ. πλάτος, βλ. Σχ.) εντοπίζεται στην Πλάκα. Έχουν την μορφή φλεβών, στρωμάτων (mantos) και «καμινάδων» (chimneys) με δεκάδες μέτρα μήκος και φιλοξενούνται κυρίως στα μάρμαρα αλλά και στους σχιστολίθους της αυτόχθονης ενότητας ή, πολύ συχνά, στην επαφή τους (Voudouris and Melfos 2014).

Τα κυριότερα ορυκτά της μεταλλοφορίας στο Λαύριο είναι τα μικτά θειούχα δηλαδή σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, (αργυρούχος) γαληνίτης, σφαλερίτης, αρσеноπυρίτης. Επουσιωδώς υπάρχουν πλήθος θειούχων και ανθρακικών ορυκτών, καθώς και θειοαλάτων όπως μαγνητοπυρίτης, μολυβδαινίτης, τενναντίτης, σιδηρίτης, ροδοχρωσίτης, μαρκασίτης, αιματίτης, μαγνητίτης, καθώς και πολλά δευτερογενή ορυκτά οξείδωσης. Από τα σύνδρομα ορυκτά τα κυριότερα είναι ο χαλαζίας, ο σερικίτης, ο ασβεστίτης, ο χλωρίτης, ο φθορίτης, ο δολομίτης-ανκερίτης, ο βαρύτης και ο ακτινολίθος (Voudouris et al. 2008 a,b).

Από πλευράς εκμεταλλεύσιμων χημικών στοιχείων, ιχνοστοιχείων και μετάλλων τα σημαντικότερα είναι ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος και ο άργυρος ενώ σε υψηλά ποσοστά υπάρχουν ο χαλκός και το αντιμόνιο. Επίσης σαν ιχνοστοιχεία υπάρχουν το βισμούθιο και ο χρυσός.

Όλη η περιοχή εξόρυξης του Λαυρίου αποτελεί φυσικό μουσείο καθώς από τα περίπου 5.200 διαφορετικά είδη ορυκτών που έχουν αναγνωριστεί παγκοσμίως πάνω από 700 μεταλλικά ή σύνδρομα μπορούν να βρεθούν στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και πάνω από 100 που προέκυψαν από την οξείδωση των μεταλλουργικών σκωριών (Ζαΐμης 2010). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα παραπροϊόντα των αρχαίων εξορύξεων (εκβολάδες και σκωρίες βλ.2.3.1.) που παρέμειναν εκτεθειμένα στις επιφανειακές συνθήκες και την αποσάθρωση για χιλιάδες χρόνια. Από αυτά προέκυψε μια ποικιλία ασυνήθιστων ορυκτών, πολλά από τα οποία μάλιστα βρέθηκαν και μελετήθηκαν για πρώτη φορά στο Λαύριο, όπως για παράδειγμα ο λαυριονίτης και ο παραλαυριονίτης (χλωριούχα ένυδρα ορυκτά του μολύβδου) που προέκυψαν από την αντίδραση του θαλασσινού νερού με τις σκωρίες τις οποίες οι αρχαίοι μεταλλευτές πετούσαν στις ακτές ή στην θάλασσα.

2.2.3 Χημισμός μητρικών πετρωμάτων

Στο πλαίσιο μίας εκτεταμένης περιβαλλοντικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ έγιναν χημικές αναλύσεις των πετρωμάτων στην αστική περιοχή του Λαυρίου, για να υπάρξει μια εικόνα του χημισμού της περιοχής αλλά και του αρχικού επιφανειακού εδάφους που προέκυψε από αυτά πριν την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων. Από τα αποτελέσματά τους (Πίνακας 1) φαίνεται ότι λόγω της μεταλλοφορίας τα πετρώματα είναι φυσικά εμπλουτισμένα σε διάφορα χημικά στοιχεία, τα περισσότερα εκ των οποίων τοξικά, σε σύγκριση με την παγκόσμια γενική μέση τιμή για τα πετρώματα του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού (από Reimann et al. 1998 και Demetriades and Vergou-Vichou 1999a). Παρατηρείται βέβαια μια μεγάλη διακύμανση των τιμών για κάθε στοιχείο και μέσες τιμές πολύ χαμηλότερες από τις μέγιστες, που σημαίνει ότι οι πολύ υψηλές τιμές βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις και περιορισμένο χώρο. Ξεχωρίζουν ο άργυρος, το αρσενικό, το κάδμιο, ο υδράργυρος, το νικέλιο, ο μόλυβδος, το αντιμόνιο και ο ψευδάργυρος. Συνεπώς και το αρχικό επιφανειακό έδαφος που προέκυψε από τα μητρικά πετρώματα πρέπει να ήταν εμπλουτισμένο σε αυτά.

Χημικό στοιχείο		Πετρώματα (n=140)*, εδαφικό κάλυμμα (n=224)** και μεταλλουργικά απορρίμματα (n=62) της αστικής περιοχής του Λαυρίου						Παγκόσμια γενική μέση τιμή των πετρωμάτων του ανώτερου ηπειρωτικού φλοιού της γης*** (mg/kg)	Δείκτης Εμπλουτισμού Έκπλυσης των πετρωμάτων του Λαυρίου σε σχέση με την Παγκόσμια γενική μέση τιμή		
		Όλοι οι τύποι των πετρωμάτων (τιμές σε mg/kg)					Εδαφικό κάλυμμα (mg/kg)			Μεταλλουργικά απορρίμματα (mg/kg)	
		Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Διάμεση τιμή	Διάμεση τιμή			Διάμεση τιμή	
Άργυρος	Ag	<0,5	41,0	0,89	3,6	0,5	12,1	18,9	0,055	16,18	
Αρσενικό	As	<0,5	1.032,0	62,80	172,4	15,6	1.290,0	2.492,0	2,000	31,40	
Βόριο	B	0,3	5,2	0,52	0,9	0,3	136,0	43,0	17,000	0,03	
Βάριο	Ba	40,0	108.000,0	1.067,00	9.110,0	210,0	479,0	243,0	668,000	1,60	
Βηρύλλιο	Be	<0,5	Κάτω από το όριο ανίχνευσης					1,0	0,5	3,100	-
Βισμούθιο	Bi	<0,5	Κάτω από το όριο ανίχνευσης					11,0	2,5	0,120	-
Κάδμιο	Cd	<1,0	41,0	1,89	5,0	0,5	38,0	20,6	0,102	18,53	
Κοβάλτιο	Co	<1,0	104,0	26,90	26,1	20,5	16,0	23,8	11,600	2,32	
Χρώμιο	Cr	<1,0	610,0	100,40	145,9	20,0	183,0	73,2	35,000	2,87	
Χαλκός	Cu	3,0	225,0	32,80	31,0	25,0	186,0	630,5	14,300	2,29	
Σίδηρος	Fe	979,0	107.016,0	23.790,00	20.660,0	19.515,0	44.771,0	234.500,0	30.890,000	0,77	
Υδράργυρος	Hg	<1,0	7,8	0,69	1,1	0,5	0,1	2,4	0,056	12,32	
Λανθάνιο	La	<2,0	30,7	10,21	6,5	8,9	22,7	27,3	32,300	0,32	
Λίθιο	Li	<1,0	106,0	9,10	12,1	5,0	17,4	14,5	22,000	0,41	
Μαγγάνιο	Mn	100,0	25.000,0	1.831,00	2.635,0	1.200,0	2.189,0	9.398,0	527,000	3,47	
Μολυβδαίνιο	Mo	<0,5	11,0	0,83	1,2	0,5	4,9	3,6	1,400	0,59	
Νικέλιο	Ni	<1,0	1.600,0	168,30	252,2	54,5	127,0	38,5	18,600	9,05	
Μόλυβδος	Pb	<1,0	1.850,0	76,85	209,1	22,0	7.305,0	20.750,0	17,000	4,52	
Θείο	S	100,0	3.000,0	1.100,00	600,0	1.200,0	12.690,0	20.581,2	953,000	1,15	
Αντιμόνιο	Sb	<5,0	71,0	6,94	12,1	2,5	121,0	189,0	0,310	22,39	
Κασσίτερος	Sn	<5,0	Κάτω από το όριο ανίχνευσης					18,5	27,7	2,000	-
Τιτάνιο	Ti	<120,0	7.014,0	920,00	1401,0	300,0	2.162,0	737,7	3.117,000	0,30	
Ουράνιο	U	2,5	6,1	2,75	0,9	2,5	3,0	2,5	2,500	1,10	
Βανάδιο	V	<1,0	71,0	13,10	13,0	9,0	75,0	46,3	53,000	0,25	
Ψευδάργυρος	Zn	<6,0	5.200,0	210,60	599,6	57,0	6.668,0	39.800,0	52,000	4,05	

*Πέτρωμα: Ag, Mo (n=155); B, Be, Bi, Hg, La, S, Sb, Sn, U (n=48); **Εδαφος: B, Bi, Hg, S, Sn, U (n=50) και Sb (n=90);

***Από Reimann et al. (1998)

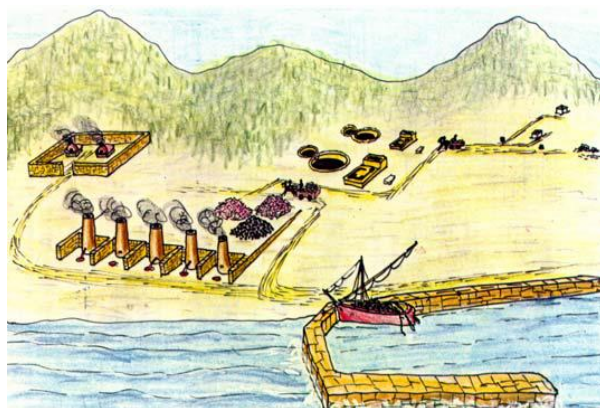
Πίνακας 1. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων των χημικών στοιχείων στα δείγματα πετρώματος στην αστική περιοχή του Λαυρίου (Demetriades and Vergou-Vichou 1999a, Δημητριάδης κ.ά. 2001).

2.3 Ιστορική αναδρομή της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων του Λαυρίου

Η κατεργασία των μετάλλων είναι συνδεδεμένη με την χαραυγή του πολιτισμού της ανθρωπότητας. Έτσι και το Λαύριο λόγω του ορυκτού του πλούτου σε πολυμεταλλικά σουλφίδια και σίδηρο υπήρξε κέντρο σημαντικής μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας από την αρχαιότητα, μέχρι και τους πρόσφατους χρόνους. Σύμφωνα με τον Ξενοφώντα οι πρώτες δραστηριότητες ξεκίνησαν πολύ νωρίς στην ιστορία και πράγματι αρχαιολογικές ανασκαφές στην περιοχή του Θορικού επιβεβαίωσαν ότι μεταλλευτικές δραστηριότητες έλαβαν χώρα στην περιοχή στα 3000 π.Χ. (Gelaude et al. 1996). Κάτι που έρχεται σε συμφωνία με τα δεδομένα ισοτοπικών αναλύσεων που έγιναν σε αρχαία κειμήλια και έδειξαν ότι η εξόρυξη αργυρούχου γαληνίτη ξεκίνησε στα 3500-3000 π.Χ. (Μάνθος 1990, Δερμάτης 1994). Από τότε η εκμετάλλευση συνεχίστηκε, κατά διαστήματα, μέχρι τους πρώτους μ.Χ. Από τότε τα μεταλλεία εγκαταλείφθηκαν για 2000 χρόνια περίπου μέχρι να επαναλειτουργήσουν τον 19^ο αιώνα.

2.3.1. Εξορύξεις της αρχαιότητας

Το απόγειο των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών δραστηριοτήτων της αρχαιότητας ήταν κατά το διάστημα 6^{ου} – 4^{ου} π.Χ. αιώνων και ιδιαίτερα τον 5^ο π.Χ. τον «Χρυσό Αιώνα» της Αθήνας (Κονοφάγος, 1980). Το ασήμι του Λαυρίου αποτέλεσε την βάση της ισχυρής οικονομίας της Αθήνας εκείνα τα χρόνια, παρείχε τον απαραίτητο πλούτο για την δημιουργία του πανίσχυρου στόλου που νίκησε τους Πέρσες στην ναυμαχία της Σαλαμίνας και για την κατασκευή των φημισμένων μνημείων με αποκορύφωμα τον Παρθενώνα στην Ακρόπολη. Τεράστιες ποσότητες μεταλλεύματος εξορύχθηκαν με τον κόπο χιλιάδων εργατών ή σκλάβων, με υπολογισμούς για παραγωγή 20 τόνων αργύρου ετησίως (Κονοφάγος 1980, Vasilopoulos et al. 2000). Στο σχήμα 4 φαίνεται ότι η έκταση των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων πρέπει να ήταν αρκετά μεγάλη.



Σχ. 4. Αναπαράσταση της διάταξης των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων του 4^{ου} π.Χ. αιώνα (Κονοφάγος 1980).

Η επεξεργασία του μεταλλεύματος γινόταν σε τρία στάδια (Vasilopoulos et al. 2000): α) **Εξόρυξη** με διάνοιξη στοών και φρεατίων. Ταυτόχρονα γινόταν χειροδιαλογή, με βάση το βάρος, του πλουσιότερου σε μόλυβδο μεταλλεύματος. Τα φτωχά μέρη παρέμεναν στις στοές

ή έξω από αυτές και αποτελούν τις αρχαίες *εκβολάδες*. β) **Εμπλουτισμός** μεταλλεύματος με σπάσιμο-κονιορτοποιήση και βαρυτικό διαχωρισμό σε ειδικά πλυντήρια. γ)

Πυρομεταλλουργική επεξεργασία για την παραγωγή μολύβδου και αργύρου. Αυτή γινόταν αρχικά με τήξη του μεταλλεύματος σε κατακόρυφους φούρνους με καύση ανθράκων και παραγωγή αργυρούχου μολύβδου και *σκωριών*, οι οποίες απορρίπτονταν. Οι κάμινοι ήταν αρκετά ψηλές διότι είχε παρατηρηθεί ότι τα αέρια της τήξης προκαλούσαν την ασθένεια της μολυβδίασης στους εργάτες. Στην συνέχεια ακολουθούσε η κυπέλλωση του αργυρούχου μολύβδου σε ειδικούς φούρνους για τον διαχωρισμό αργύρου και οξειδίου του μολύβδου (το οποίο οι αρχαίοι ονόμαζαν λιθάργυρο), και τέλος ανάτηξη του τελευταίου για παραγωγή καθαρού σχετικά μολύβδου (Κονοφάγος 1980, Vasilopoulos et al. 2000).



Το προϊόν των μεταλλείων μεταφερόταν στην Αθήνα όπου ο άργυρος κοβόταν σε νομίσματα, τα περίφημα αργυρά τετράδραχμα Αθηνών (Σχ. 5), ή εξαγόταν. Επίσης αξιοποιούνταν ή εξαγόταν στο εμπόριο ο μολύβδος, ο χαλκός και ο σίδηρος (Economidou 1992).

2.3.2. Σύγχρονη εκμετάλλευση

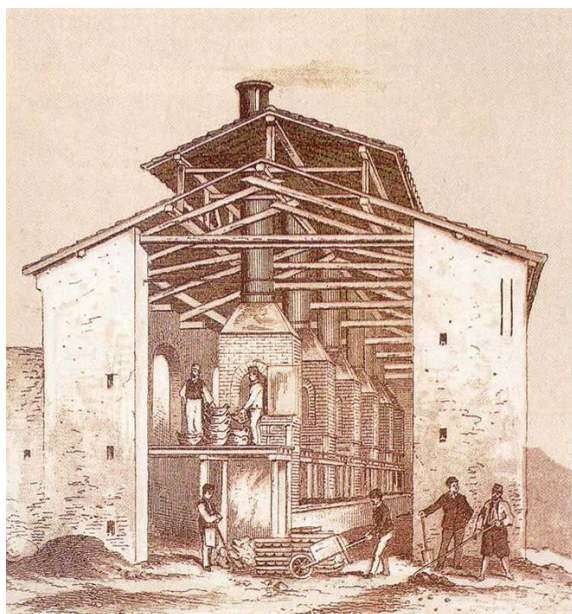
Οι νέες δραστηριότητες, μετά από πολλούς αιώνες κατά τους οποίους τα μεταλλεία παρέμειναν ανενεργά, ξεκίνησαν το 1865 όταν η γαλλοιταλική εταιρία Roux Serpieri Fressynet C.A. (ή Hilarion Roux et cie) δημιούργησε την πρώτη μεταλλουργική βιομηχανία στην Ελλάδα και ξεκίνησε η εκμετάλλευση των αρχαίων σκωριών και εκβολάδων (Δημητριάδης κ.ά. 2001). Αυτές ανέρχονταν σε εκατομμύρια τόνους και περιείχαν υψηλά ποσοστά αργυρούχου μολύβδου λόγω των υποδεέστερων μεταλλουργικών μεθόδων της αρχαιότητας. Μετά από δύο χρόνια ξεκίνησαν και νέες εξορύξεις μέχρι να ξεσπάσει το πολιτικό-νομικό λαυρεωτικό ζήτημα μεταξύ της εταιρίας και του ελληνικού δημοσίου σχετικά με το ιδιοκτησιακό καθεστώς των αρχαίων εκβολάδων (Τεχνολογία 2001). Από αυτό τελικά προέκυψαν δύο εταιρίες, μια ελληνική (1873-1917) και μια γαλλική. (1875-1981). Η ελληνική εκμεταλλευόταν τις σκωρίες και εκβολάδες μέχρι το 1917 οπότε και τα αποθέματα εξαντλήθηκαν. Ενώ η γαλλική έχτισε νέες εγκαταστάσεις (οι οποίες αποτελούν σήμερα το Τεχνολογικό και Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου) και συνέχισε τις εξορύξεις μέχρι το 1981.

Η εκβιομηχάνιση στο Λαύριο ήταν πολύ σημαντική για την περιοχή αλλά και για το νεοσύστατο ελληνικό κράτος. Έτσι ήταν η πρώτη πόλη που ηλεκτροφωτίστηκε, λειτούργησε

το πρώτο τηλέφωνο και συνδέθηκε σιδηροδρομικά με την Αθήνα. Εκεί επίσης ξεκίνησε το πρώτο εργατικό συνδικαλιστικό κίνημα στην Ελλάδα. Σε αυτήν οφείλεται όμως και η περιβαλλοντική καταστροφή η οποία εξετάζεται παρακάτω και είναι το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Η εξόρυξη και επεξεργασία του μεταλλεύματος ακολούθησε τις αρχαίες στοές και γινόταν με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που είχε εφαρμοστεί στην αρχαιότητα. Μόνο που η βιομηχανική επανάσταση παρείχε πολύ πιο προηγμένη τεχνολογία: κάμινους τήξης (Σχ.6) και κυπέλλωσης, συστήματα εμπλουτισμού-έκπλυσης με πολύ μεγαλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότητα (Τεχνολογία 2001). Επίσης αρχαία φρεάτια και στοές επαναχρησιμοποιήθηκαν και διευρύνθηκαν. Η ταχύτητα και η ποσότητα παραγωγής είχαν αυξηθεί ραγδαία σε σχέση με το μακρινό παρελθόν, το ίδιο όμως συνέβη και στον ρυθμό ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος δεν λαμβάνονταν εκείνη την εποχή αφού δεν υπήρχε και το σχετικό νομοθετικό πλαίσιο. Με τα βίαια λήφθηκαν κάποια μέτρα για τους εργαζομένους μετά από πρόταση του Κ. Κονοφάγου (καθηγητή τότε και αργότερα πρύτανη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου) τη δεκαετία του 1960 με την κατασκευή ενός κτιρίου το οποίο κατακρατούσε τα τοξικά αέρια απόβλητα. Μέχρι τότε πολλές ζωές εργατών είχαν χαθεί από αυτά. Το κτίριο, το οποίο έπειτα πήρε το όνομά του, ήταν πολύ μεγάλης



περιβαλλοντικής σημασίας και έσωσε πολλές ζωές. Σήμερα όμως παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στατικής και αποτελεί σημαντικό κίνδυνο διότι περιλαμβάνει 55-250 τόνους τοξικής σκόνης αποθηκευμένης σε βαρέλια. Ακόμα, ενώ έχει δημιουργηθεί κατάλληλος υπόγειος χώρος υγειονομικής ταφής τους από το 2010, δεν έχει προχωρήσει η αποκατάσταση τους λόγω γραφειοκρατίας (Εφημερίδα Ελευθεροτυπία 2009, 2011).

Σχ. 6. Κάμινος, ισπανικού τύπου Καστιλιάνο, ανάτηξης των αρχαίων σκωρίων (Τεχνολογία 2001)

3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην Λαυρεωτική χερσόνησο

3.1 Γενικά

Ήδη από τις αρχαίες εξορύξεις το τοπίο της Λαυρεωτικής είχε αλλάξει δραματικά, τα δάση απογυμνώθηκαν για να παραχθεί ξυλεία και κάρβουνο για την μεταλλουργία με αποτέλεσμα να διαταραχθεί ο κύκλος του νερού και το κλίμα λόγω της έντονης διάβρωσης (Vasilopoulos et al. 2000). Οι τεχνητοί λόφοι που είχαν σχηματιστεί από τα παραπροϊόντα της εξόρυξης (σκωρίες και εκβολάδες) προκάλεσαν οικολογική-περιβαλλοντική υποβάθμιση καθώς και σημαντικές αλλαγές στην γεωμορφολογία. Λόγω των ελλειπών τεχνολογικών μέσων και μεθόδων μεταλλουργίας της εποχής, οι σωροί σκωριών περιείχαν υψηλά ποσοστά μολύβδου κι έτσι ρυπάνθηκαν τα εδάφη και τα νερά της περιοχής μέσω της όξινης απορροής. Τα πάνω από δύο χιλιάδες αρχαία μεταλλευτικά φρεάτια που εκσκάφθηκαν βοηθούν στην διάβρωση του εδάφους και στην ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα από τοξικά στοιχεία.

Οι αρχαίες βέβαια εξορύξεις, αν και σημαντικές στην έκταση και την έντασή τους, δεν μπορούν να συγκριθούν με το περιβαλλοντικό κόστος των νεώτερων εξορύξεων (1865-1989) οι οποίες άφησαν πίσω τους τεράστιες ποσότητες επικίνδυνων μεταλλουργικών αποβλήτων, ιδιαίτερα στην αστική περιοχή του Λαυρίου όπου ήταν το κέντρο των διαδικασιών επεξεργασίας (εμπλουτισμού και εκκαμίνευσης) του μεταλλεύματος (Vasilopoulos et al. 2000). Η σύγχρονη πόλη του Λαυρίου όπως σχολεία, σπίτια, πάρκα, παιδικές χαρές και άλλοι δημόσιοι ή ιδιωτικοί χώροι έχουν χτιστεί πάνω ή πολύ κοντά σε αυτά τα απόβλητα. Επιπλέον οι κάτοικοι, ο δήμος και ιδιωτικές εταιρίες τα χρησιμοποιούν με διάφορους τρόπους όπως για την κατασκευή ή επίστρωση δρόμων, για τις αυλές σχολείων, το χτίσιμο σπιτιών κ.ά. (Δημητριάδης κ.ά. 2001). Κατά την μεταφορά τους, σκόνη με υψηλές περιεκτικότητες σε βαρέα μέταλλα απελευθερώνεται και μεταφέρεται από τον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις, ιδιαίτερα από τους ισχυρούς βορειοδυτικούς ανέμους οι οποίοι είναι συνηθισμένοι στην περιοχή, και εισπνέεται από τους κατοίκους.

Συνεπώς λόγω του μεγάλου όγκου και εξάπλωσης των αποβλήτων στην αστική περιοχή του Λαυρίου σε συνδυασμό με την διάβρωση, μεταφορά (μέσω του νερού ή του αέρα) και εναπόθεση τους, έχει ρυπανθεί σημαντικά το επιφανειακό έδαφος από μόλυβδο, ψευδάργυρο, αρσενικό, αντιμόνιο, κάδμιο, χαλκό, υδράργυρο και άλλα τοξικά βαρέα μέταλλα (Δημητριάδης κ.ά. 2001, Vasilopoulos et al. 2000). Αυτό αποτελεί και τον μεγαλύτερο κίνδυνο ρύπανσης για τους κατοίκους διότι καταλαμβάνει πολύ μεγάλη έκταση και οι περιεκτικότητες σε τοξικά βαρέα μέταλλα είναι ιδιαίτερα υψηλές.

Για τους παραπάνω λόγους και εν γνώση των αρνητικών επιπτώσεων της τοξικότητας του μολύβδου και των άλλων βαρέων μετάλλων στην δημόσια υγεία, ξεκίνησαν από την δεκαετία του 1980 διάφορες επιδημιολογικές και ιατρικές έρευνες, καθώς και μελέτες των επιπτώσεων στα ζώα και τα φυτά. Αυτές έδειξαν ότι οι κάτοικοι του Λαυρίου παρουσιάζουν υψηλές τιμές μολύβδου στο αίμα και αρσενικού στα ούρα καθώς και νευρολογικές διαταραχές (Δρόσος κ.ά. 1982, Benetou-Marantidou et al. 1985, Νάκου 1985, Hatzakis et al. 1987, Maravelias et al. 1989, Eikmann et al. 1991, Makropoulos et al. 1991, 1992a, b, Kafourou et al. 1997). Ακόμη βρέθηκε υψηλό ποσοστό μολύβδου στα νεογιλά δόντια των παιδιών (Stavrakis et al. 1994) και αρσενικού στα ούρα (Δημητριάδης κ.ά. 2008). Για τα εδώδιμα φυτά αποδείχθηκε ότι περιέχουν επικίνδυνες συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων (Chronopoulos and Chronopoulou-Sereli, 1986a, b, 1991, Chronopoulou-Sereli and Chronopoulos, 1991a, b, Xenidis et al. 1997, Χρονοπούλου-Σερέλη κ.ά. 2001). Τα κατοικίδια ζώα επίσης παρουσιάζουν προβλήματα υγείας κυρίως του νευρικού συστήματος.

Μετά το πέρας των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων το 1981, το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) ξεκίνησε την δεκαετία του 1990 μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην Λαυρεωτική και γεωχημικές χωρικές αναλύσεις στην ευρύτερη περιοχή, ενώ το Λαύριο ως επίκεντρο της μεταλλουργικής δραστηριότητας μελετήθηκε λεπτομερέστερα. Χαρτογραφήθηκαν τα μεταλλευτικά απόβλητα και συλλέχθηκαν δείγματα επιφανειακού εδάφους, από την ανάλυση των οποίων φάνηκε ότι ένα μεγάλο τμήμα της Λαυρεωτικής χερσονήσου, δηλαδή όχι μόνο του αστικού Λαυρίου, έχει ρυπανθεί από βαρέα μέταλλα. Επίσης συγκεντρώθηκαν δείγματα σκόνης από σπίτια, δρόμους και αυλές σπιτιών. Την περίοδο 1994-1999 οι μελέτες συνεχίστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος LIFE (Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρεωτικής) με την συγχρηματοδότηση του Ελληνικού δημοσίου και της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την συμμετοχή του Ι.Γ.Μ.Ε., του Ε.Μ.Π. και της εταιρίας PRISMA.

Παρακάτω παραθέτουμε μερικά από τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών έτσι ώστε να γίνει κατανοητό το μέγεθος της ρύπανσης και οι πιθανοί κίνδυνοι για την δημόσια υγεία.

3.2 Γεωχημικοί Χάρτες Λαυρεωτικής

Από τα αποτελέσματα των Δημητριάδης κ.ά. 1994α,β,γ, Σταυράκη κ.ά. 1994 οι οποίοι αποτύπωσαν τις γεωχημικές ανωμαλίες σε χάρτες, φαίνεται η εξάπλωση και η έκταση της ρύπανσης σε όλη την Λαυρεωτική χερσόνησο από τα διάφορα τοξικά μέταλλα (Σχήματα 7-12). Βέβαια όπως είδαμε και προηγουμένως (Κεφ. 2.2.3) τα πετρώματα, και συνεπώς το αρχικό έδαφος, είναι φυσικά εμπλουτισμένα σε πολλά από αυτά τα μέταλλα σε κάποιο βαθμό, αλλά οι τιμές που μετρήθηκαν είναι πολύ μεγαλύτερες και οφείλονται ασφαλώς στην εκμετάλλευση και επεξεργασία των μεταλλευμάτων. Άλλωστε στους γεωχημικούς χάρτες ξεχωρίζουν οι ανωμαλίες στο Λαύριο και στην Καμάριζα, που αποτέλεσαν μεταλλουργικό και μεταλλευτικό κέντρο αντίστοιχα, καθώς και άλλα μικρότερα μεταλλευτικά/μεταλλουργικά κέντρα (π.χ. Λεγρενά, Πλάκα). Στον χάρτη της κατανομής του μολύβδου (Σχ.12) οριοθετούνται όλες οι γνωστές θέσεις εκμετάλλευσης με τιμές >2.232 mg/kg.

Στα σχήματα 7-10 διακρίνονται οι χημικές ανωμαλίες στον χαλκό, το αντιμόνιο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο και προκύπτει ότι υπάρχει ένας συσχετισμός σε ότι αφορά την κατανομή αυτών των μετάλλων που ακολουθεί την κατανομή του χαλκού. Το ίδιο ισχύει και για το αρσενικό (Σχ.11) το οποίο έχει πολύ υψηλές τιμές στην περιοχή του Λαυρίου και της Καμάριζας.

Στον πίνακα 2 φαίνονται οι φυσιολογικές τιμές των στοιχείων στο έδαφος και τα φυτοτοξικά όρια. Από την σύγκριση τους με τις τιμές στο επιφανειακό έδαφος της Λαυρεωτικής συμπεραίνεται ότι ένα πολύ μεγάλο μέρος της περιοχής έχει συγκεντρώσεις πολλές φορές μεγαλύτερες από τις φυσιολογικές και ξεπερνάει τα φυτοτοξικά όρια. Επίσης,

Τοξικά στοιχεία	Γενικές τιμές		Φυτοτοξικά όρια						Επιφανειακό έδαφος Λαυρεωτικής		
	A	B	α	β	γ	δ	ε	ζ	Διάμεση τιμή	Μέση τιμή	Διακύμανση
Αρσενικό (As)	7.5	1 - 50	-	50	25	30	20	15	93,4	222,2	2,8 - 7065,5
Κάδμιο (Cd)	0.1 - 0.5 ^δ	1	-	5	8	5	3	-	4,3	11,9	<3,3 - 233,1
Χρόμιο (Cr)	43	5 - 1000	-	100	75	100	100	-	291,1	368,4	0,4 - 2575,4
Χαλκός (Cu)	15	2 - 100	60	100	100	100	100	125	51,0	88,7	7,0 - 1397,0
Νικέλιο (Ni)	17	5 - 500	-	100	100	100	100	100	147,2	188,9	1,3 - 1635,5
Μόλυβδος (Pb)	17	2 - 200	-	100	200	100	100	400	692,1	2882,7	23,5 - 70032,4
Αντιμόνιο (Sb)	2 ^μ	5	-	-	-	10	5	-	7,0	33,9	3,4 - 49,5
Ψευδάργυρος (Zn)	36	10 - 300	70	300	400	300	300	250	420,1	1957,5	28,3 - 51608,4

A: Από Rose *et al.* (1979). Διάμεσες τιμές εκτός (μ) μέση τιμή και (δ) διακύμανση.

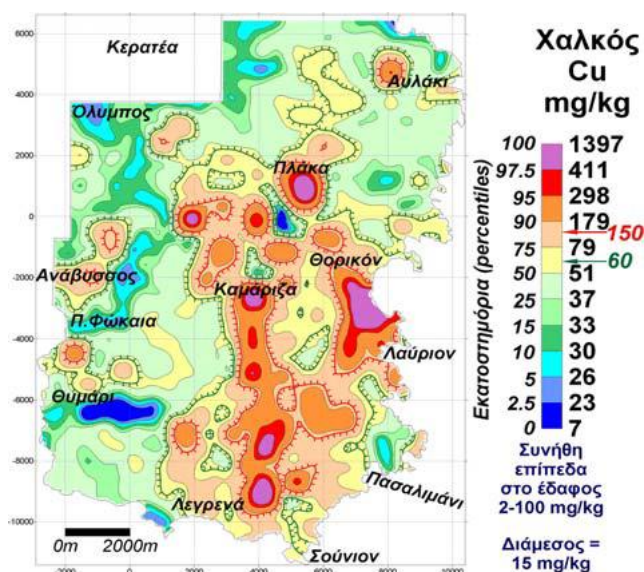
B: Από Levinson (1974, Πίνακας 2-1, σελ. 43).

α, β, γ, δ, ε, ζ: Από Kabata-Pendias and Pendias (1984, Πίνακας 6, σελ. 11)

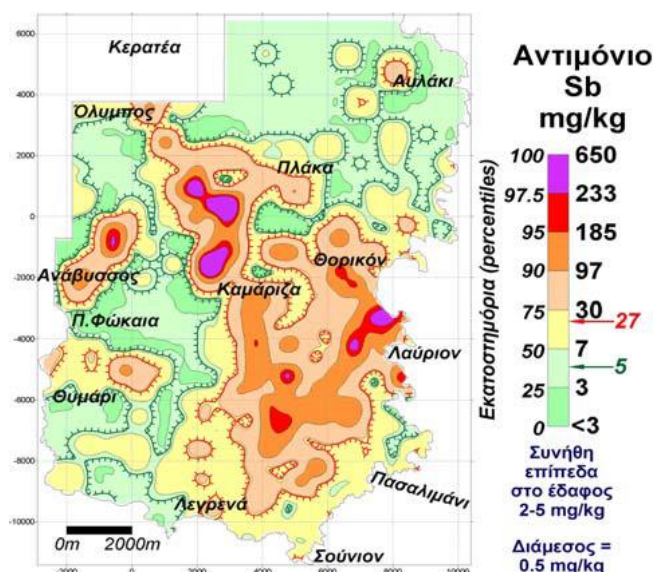
Πίνακας 2. Φυσιολογικές τιμές σε mg/kg των στοιχείων στα εδάφη (A-B), φυτοτοξικά όρια (α-ζ) και οι συγκεντρώσεις στα δείγματα επιφανειακού εδάφους της Λαυρεωτικής (n=698) (Δημητριάδης κ.α. 2004).

όπως φαίνεται και στους γεωχημικούς χάρτες ένα πολύ μεγάλο τμήμα της περιοχής ξεπερνάει τα νομοθετημένα όρια για οικιστικές περιοχές (με βάση την Βρετανική νομοθεσία ICRL 1987), για παράδειγμα το 93,3% της περιοχής που μελετήθηκε ξεπερνάει το όριο για το αρσενικό, το 59,9% ξεπερνάει το όριο για τον μόλυβδο και το 57,3% για το κάδμιο.

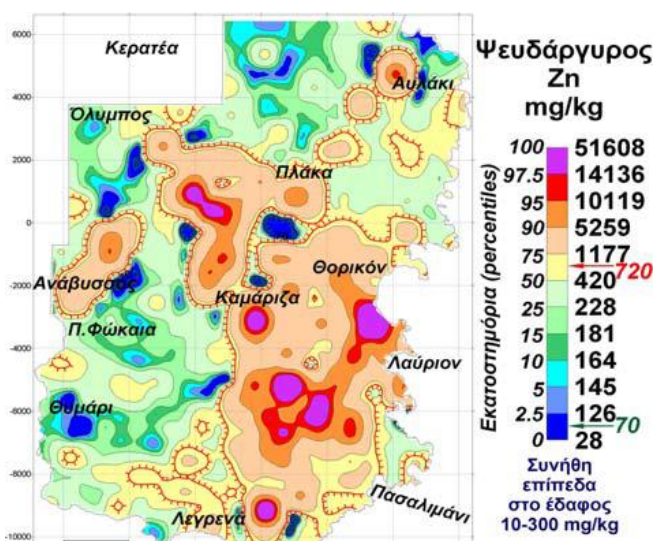
Για να κατανοηθεί καλύτερα η σοβαρότητα της ρύπανσης παρατίθενται και οι χάρτες επικινδυνότητας για την υγιεινή και την διαβίωση των ανθρώπων και για την υγιή ανάπτυξη των φυτών) (Σχ. 13,14).



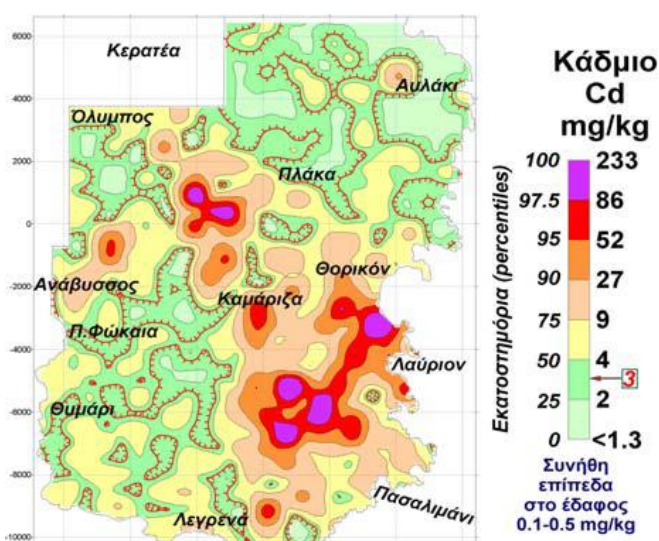
Σχ. 7. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του χαλκού (Cu) στο επιφανειακό έδαφος (0-10cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το νομοθετημένο όριο των 150 mg/kg Cu για κατοικημένες περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



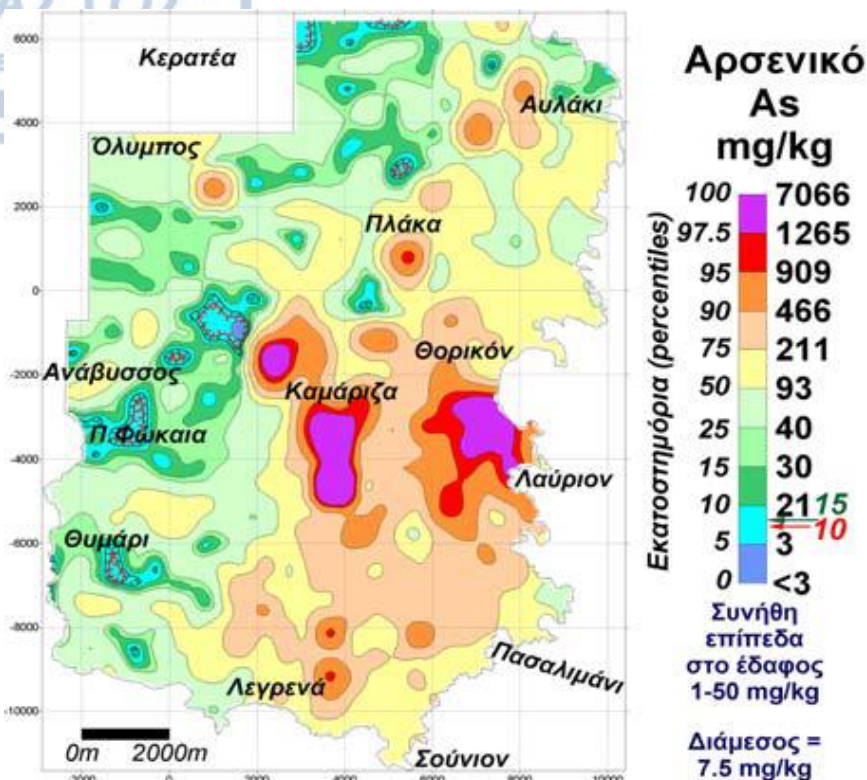
Σχ. 8. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του αντιμονίου (Sb) στο επιφανειακό έδαφος (0-10cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το νομοθετημένο όριο των 27 mg/kg Sb για κατοικημένες περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



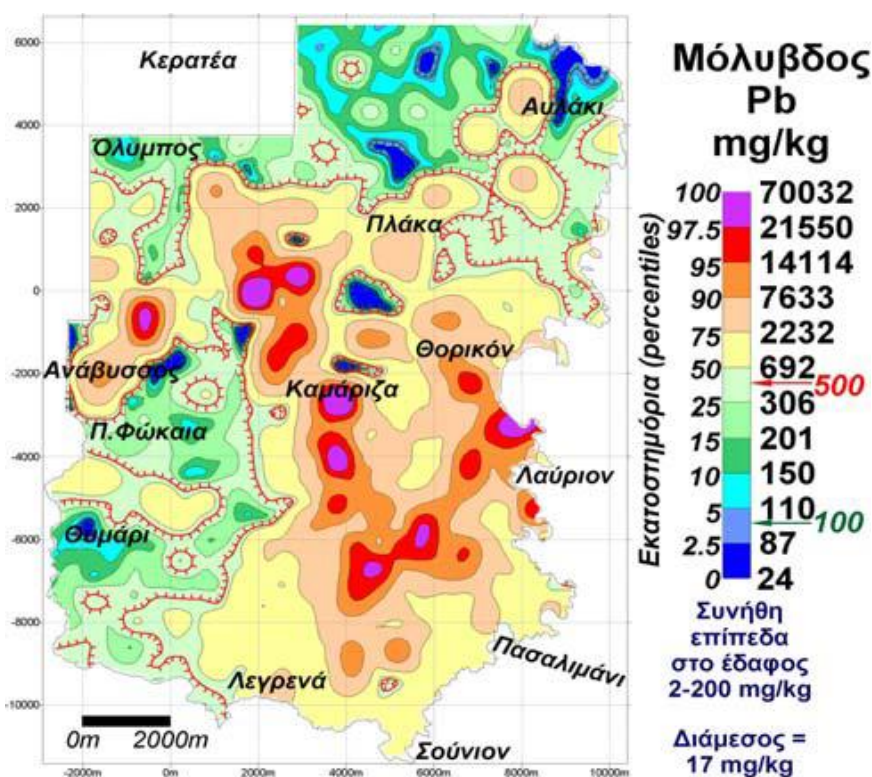
Σχ. 9. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του ψευδαργύρου (Zn) στο επιφανειακό έδαφος (0-10cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το νομοθετημένο όριο των 720 mg/kg Zn για κατοικημένες περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



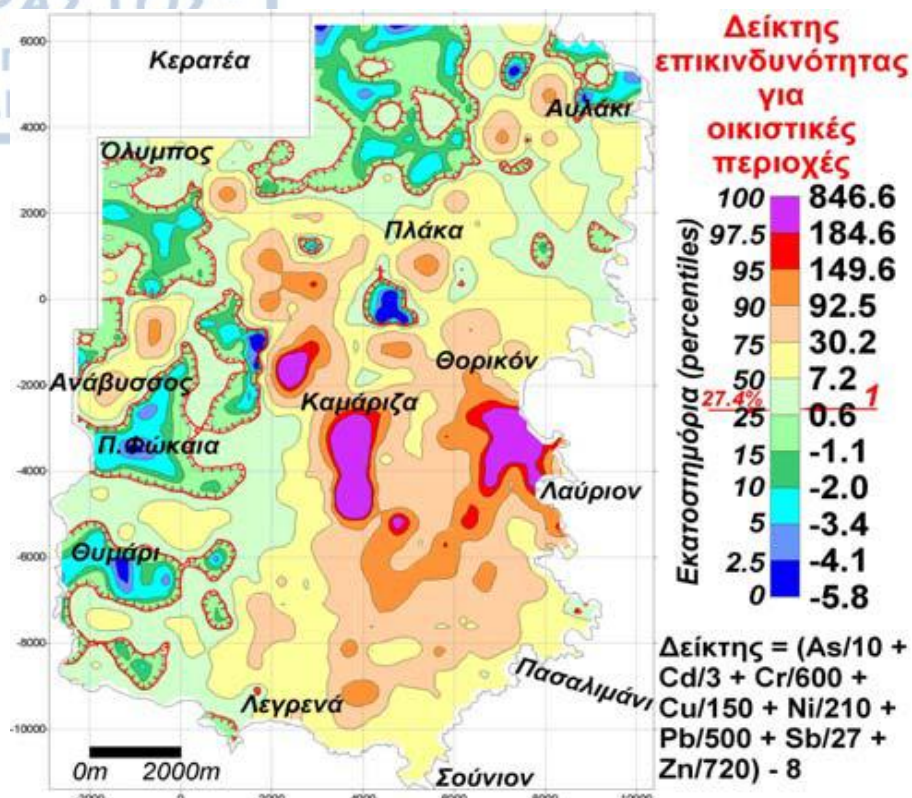
Σχ. 10. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του καδμίου (Cd) στο επιφανειακό έδαφος (0-10cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το νομοθετημένο όριο των 3 mg/kg Cd για κατοικημένες περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



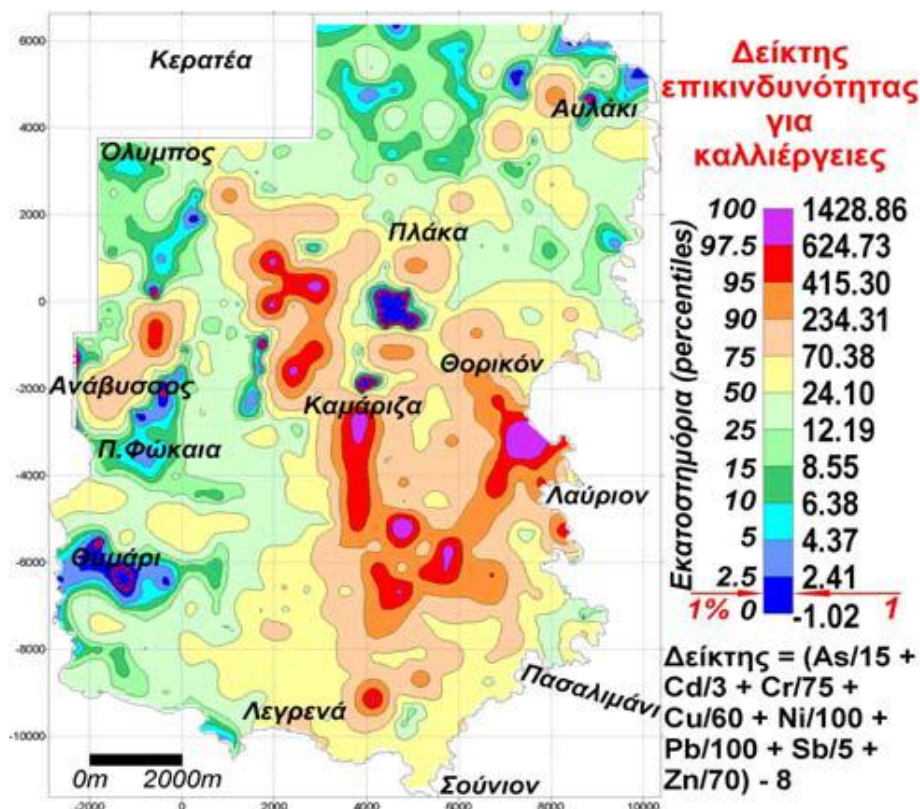
Σχ. 11. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του αρσενικού (As) στο επιφανειακό έδαφος (0-10cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το νομοθετημένο όριο των 10 mg/kg As για κατοικημένες περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



Σχ. 12. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του μολύβδου (Pb) στο επιφανειακό έδαφος (0-10cm) της Λαυρεωτικής χερσονήσου. Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το νομοθετημένο όριο των 500 mg/kg Pb για κατοικημένες περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



Σχ. 13. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Δείκτη Επικινδυνότητας για το επιφανειακό έδαφος (0-10 cm) οικιστικών περιοχών στη Λαυρεωτική χερσόνησο ως προς τα τοξικά χημικά στοιχεία As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb και Zn). Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το όριο που θεωρείται ασφαλές για κατοικίες, που είναι 27,4% της έκτασης της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Δημητριάδης κ.ά. 2004).



Σχ.14. Γεωχημικός χάρτης κατανομής του Δείκτη Επικινδυνότητας για το επιφανειακό έδαφος (0-10 cm) οικιστικών περιοχών στη Λαυρεωτική χερσόνησο ως προς τα τοξικά χημικά στοιχεία As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb και Zn). Η οδοντωτή γραμμή δείχνει το όριο που θεωρείται ασφαλές για καλλιέργειες, που είναι μόνο το 1% της έκτασης της Λαυρεωτικής χερσονήσου (Δημητριάδης κ.ά. 2004).

3.3 Μεταλλουργικά απόβλητα Λαυρίου

Τα μεταλλουργικά απόβλητα στην περιοχή του Λαυρίου καλύπτουν πολύ μεγάλη έκταση (το 25%) της αστικής περιοχής του Λαυρίου που μελετήθηκε (η οποία είναι 7.235 km²) και αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης. Χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες (Δημητριάδης κ.α. 2001):

- Τα απορρίμματα επίπλευσης (ή εμπλουτισμού) του μεταλλεύματος καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση και αποτελούνται από άμμο και κροκάλες, το άχρηστο υλικό δηλαδή που διαχωρίζεται από το μέταλλευμα μετά τον θρυμματισμό, κονιορτοποίηση και έκπλυση-επίπλευσή του. Οι κάτοικοι του Λαυρίου τα αποκαλούν «σαβούρα». Έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε τοξικά μέταλλα (αρσενικό, μόλυβδο κ.ά.) και θεωρούνται τα πλέον επικίνδυνα διότι μεγάλο τμήμα της πόλης είναι κτισμένο πάνω σε αυτά, ο πληθυσμός (κυρίως τα παιδιά) έρχονται σε άμεση επαφή μαζί τους, αποτελούν κηπευτικό έδαφος και δομικό υλικό.
- Οι σιδηροπυρίτες (ή πυρίτες) είναι επίσης απορρίμματα του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος και περιέχουν τοξικά μέταλλα (αρσενικό, μόλυβδο κ.ά.). Εκτός από αυτό είναι επιρρεπή στην αποσάθρωση και οξείδωση και προκαλούν έντονη όξινη απορροή. Βρίσκονται διάσπαρτοι στην αστική περιοχή του Λαυρίου και κυρίως στον κόλπο του Θορικού και στον Καβοδόκανο. Οι πυριτούχοι άμμοι είναι μια ενδιάμεση κατηγορία, δηλαδή απρρίματα επίπλευσης με μικρά ποσοστά σιδηροπυρίτη.
- Οι σκουρίες (ή σκουριές) είναι το περισσεύματα από την τήξη του μεταλλεύματος που γίνεται για την παραγωγή αργυρούχου μολύβδου. Είναι συσσωρευμένες σε λοφίσκους ή σωρούς στο βόρειο και νότιο τμήμα του Λαυρίου και στις παραλίες. Έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον ως υλικό αμμοβολής, υπόστρωμα ή επίστρωση σε δρόμους και αυλές σχολείων, ως δομικό ή μονωτικό υλικό ή υλικό πλήρωσης για θεμέλια κτιρίων κ.ά. Τέλος, από την επί τόπου θραύση και τριβή των σκουριών σε συνδυασμό με την συσσώρευση χώματος μέσω αιολικής μεταφοράς δημιουργήθηκε γαιώδες-χωμάτινο υλικό εντός των σκουριών, επίσης ρυπασμένο.

Παρακάτω φαίνεται η χημική τους σύσταση (Πίνακας 3), η χωρική κατανομή τους (Σχήμα 15) καθώς και η περιεκτικότητα της κάθε κατηγορίας σε μόλυβδο (Πίνακας 4), ο οποίος είναι και ο κυριότερος ρύπος.

Χημικό στοιχείο		Όλα τα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων (n=62) (τιμές σε χιλιοστόγραμμα μετάλλου ανά κιλό εδάφους, mg/kg)						Πέτρωμα (n=140)*	Εδαφος (n=224)**
		Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντελεστής διακύμανσης (%)	Διάμεση τιμή	Διάμεση τιμή (mg/kg)	Διάμεση τιμή (mg/kg)
Αργυρος	Ag	3,2	96,0	33,8	28,2	83,5	18,9	0,5	12,1
Αρσενικό	As	283,0	26.063,0	4.593,0	5.383,0	117,2	2.492,0	15,6	1.290,0
Βόριο	B	<5,0	667,1	61,8	102,8	166,4	43,0	0,3	136,0
Βάριο	Ba	27,7	2.059,0	368,2	419,0	113,8	243,0	210,0	479,0
Βηρύλλιο	Be	<1,0	1,3	0,6	0,3	40,6	0,5	-	1,0
Βισμούθιο	Bi	<5,0	56,9	6,8	10,8	158,3	2,5	-	11,0
Κάδμιο	Cd	116,6	580,8	74,8	116,6	155,9	20,6	0,5	38,0
Κοβάλτιο	Co	3,0	84,0	26,4	16,0	60,6	23,8	20,5	16,0
Χρώμιο	Cr	8,1	299,2	83,5	60,0	71,9	73,2	20,0	183,0
Χαλκός	Cu	184,0	8.700,0	1.172,9	1.362,6	116,2	630,5	25,0	186,0
Σίδηρος	Fe	35.000,0	380.000,0	217.081,0	89.238,0	41,1	234.500,0	19.515,0	44.771,0
Υδράργυρος	Hg	<1,0	10,2	2,6	1,7	67,1	2,4	0,5	0,1
Λανθάνιο	La	<2,0	47,3	25,1	11,6	46,3	27,3	8,9	22,7
Λίθιο	Li	<1,0	25,8	12,2	7,2	58,9	14,5	5,0	17,4
Μαγγάνιο	Mn	182,0	35.354,0	11.913,0	9.925,0	83,3	9.398,0	1.200,0	2.189,0
Μολυβδαίνιο	Mo	<1,0	111,1	9,3	19,0	205,5	3,6	0,5	4,9
Νικέλιο	Ni	5,5	205,2	51,4	40,4	78,6	38,5	54,5	127,0
Μόλυβδος	Pb	3.800,0	85.200,0	24.451,0	18.085,4	74,0	20.750,0	22,0	7.305,0
Θείο	S	1.972,1	341.731,7	48.394,6	73.380,1	151,6	20.581,2	1.200,0	12.690,0
Αντιμόνιο	Sb	183,3	851,0	229,5	183,3	79,9	189,0	2,5	121,0
Κασσίτερος	Sn	5,7	332,3	37,5	43,7	116,4	27,7	-	18,5
Τιτάνιο	Ti	<10,0	2.031,0	799,8	682,5	85,3	737,7	300,0	2.162,0
Ουράνιο	U	<5,0	12,5	3,2	1,9	57,6	2,5	2,5	3,0
Βανάδιο	V	<2,0	104,2	44,4	23,8	53,7	46,3	9,0	75,0
Ψευδάργυρος	Zn	1.500,0	98.000,0	41.194,0	25.332,0	61,5	39.800,0	57,0	6.668,0

*Πέτρωμα: Ag, Mo (n=155). B, Be, Bi, Hg, La, S, Sb, Sn, U (n=48)

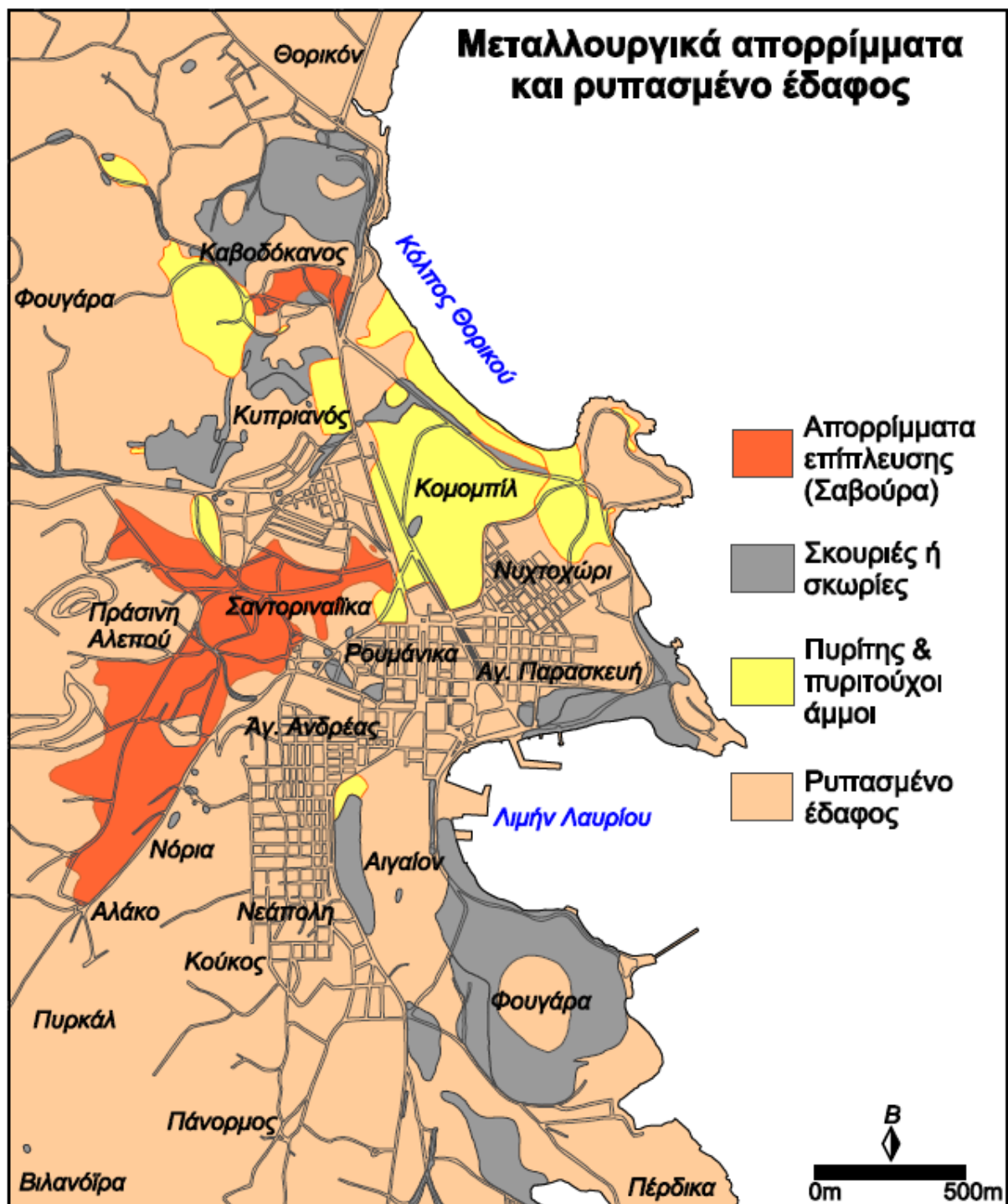
**Εδαφος: B, Bi, Hg, S, Sn, U (n=50). Sb (n=90)

Πίνακας 3. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων των στοιχείων στα δείγματα των μεταλλουργικών απορριμμάτων του Λαυρίου. (Demetriades and Vergou-Vichou 1999b, Πίνακας 5.1, σελ. 128).

Στατιστικές παράμετροι	Σκουριές	Χώμα σκουριών	Υλικό αμμοβολής	Απορρίμματα επίπλευσης (Σαβούρα)	Απορρίμματα πυρίτη	Πυριτούχοι άμμοι
Αριθμός δειγμάτων	21	7	8	8	12	6
Ελάχιστη τιμή	5.000	5.080	12.300	18.500	9.800	3.800
Μέγιστη τιμή	51.200	30.800	32.800	28.100	85.200	41.200
Μέση τιμή	16.500	19.480	19.700	24.540	47.040	19.130
Διάμεση τιμή	11.800	18.500	17.250	24.950	45.400	16.770
Πρώτο τεταρτημόριο	8.575	15.050	14.600	23.050	24.650	3.850
Τρίτο τεταρτημόριο	21.550	26.500	24.400	26.850	70.400	32.400
Τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής	2.595	3.310	2.737	1.088	7.150	6.957
95% διάστ. εμπ. μέσης τιμής*	5.413	8.100	6.473	2.573	15.740	17.890
99% διάστ. εμπ. μέσης τιμής*	7.383	12.270	9.577	3.807	22.210	28.050
Τυπική απόκλιση (±)	11.890	8.758	7.741	3.078	24.770	17.040
Συντελεστής διακύμανσης (%)	72,1	45,0	39,3	12,5	52,7	89,1

* 95% & 99% διάστημα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής

Πίνακας 4. Στατιστικές παράμετροι των συγκεντρώσεων του μολύβδου (Pb) στα δείγματα των σκουριών, του γαιώδους υλικού εντός των σκουριών, του υλικού αμμοβολής, των απορριμμάτων επίπλευσης, των απορριμμάτων πυρίτη και πυριτούχων άμμων από την αστική περιοχή του Λαυρίου (μονάδες: χιλιοστόγραμμα μολύβδου ανά κιλό μεταλλουργικού απορρίμματος, mg/kg) (Δημητριάδης κ.ά. 2001).



Σχ. 15. Χάρτης χωρικής κατανομής των μεταλλουργικών απορριμάτων (Δημητριάδης κ.ά. 2001).

Φαίνεται από τους πίνακες τα μεταλλουργικά απόβλητα περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών μετάλλων, κυρίως αρσενικό, χαλκό, μόλυβδο, ψευδάργυρο αντιμόνιο, κάδμιο κ.ά. και ότι αυτά που περιέχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου είναι οι σκουριές και οι πυρίτες. Είναι εμφανές λοιπόν ότι, λόγω της πολύ μεγάλης εξάπλωσης και υψηλής περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα, τα μεταλλουργικά απόβλητα αποτελούν μείζων περιβαλλοντικό πρόβλημα για το Λαύριο.

3.3.1 Οι σκουριές του Λαυρίου

Αξίζει να αναφερθούμε αναλυτικότερα στις σκουριές διότι αποτελούν σημαντικό παράγοντα του προβλήματος. Γενικά υπάρχουν δύο τύποι μεταλλουργικών σκουριών οι *σιδηρούχες* και οι *μη-σιδηρούχες* (Flett and Riddler 1992). Οι πρώτες προκύπτουν από την τήξη σιδηρούχων-σιδηρομαγγανιούχων μεταλλευμάτων, δεν περιέχουν υψηλά ποσοστά τοξικών μετάλλων και είναι χημικά αδρανείς. Συνεπώς σωστά χρησιμοποιούνται στην επίστρωση δρόμων, στην δόμηση κ.ά. λόγω των καλών φυσικών τους ιδιοτήτων. Οι δεύτερες, στις οποίες ανήκουν και αυτές του Λαυρίου, προκύπτουν από την τήξη μικτών θειούχων ή πολυμεταλλικών μεταλλευμάτων και περιέχουν υψηλά ποσοστά τοξικών μετάλλων, τα οποία με την οξείδωση απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Επίσης παρατηρήθηκε η αντίδραση τους με το θαλασσίνο νερό και η δημιουργία νέων ορυκτών (Λαυριονίτης κ.ά.). Συνεπώς αυτού του τύπου οι σκουριές είναι χημικά ενεργές και ήταν λαθεμένη η χρήση τους για οδοποιία, δόμηση κτλ. στο Λαύριο.

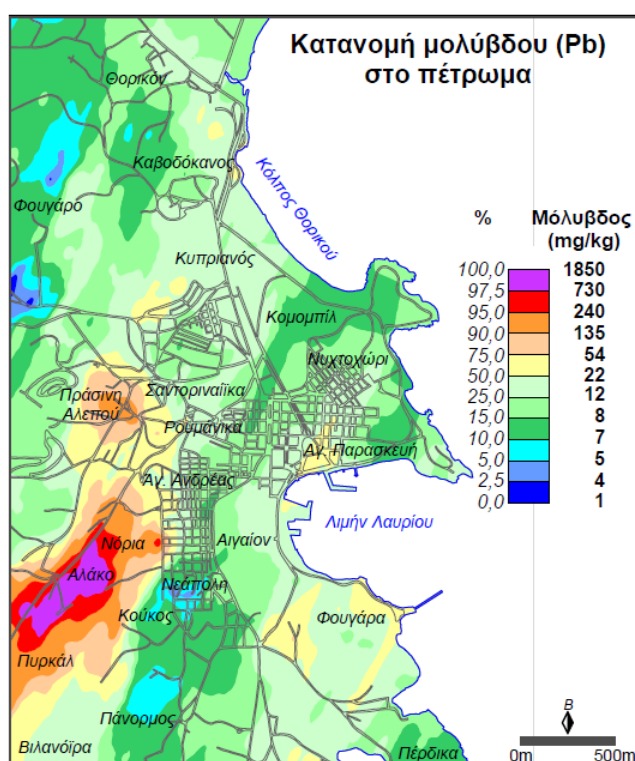
3.4. Γεωγραφική κατανομή και συγκεντρώσεις μολύβδου και αρσενικού

Θα αναφερθούμε στην χωρική κατανομή αυτών των δύο στοιχείων στην αστική περιοχή του Λαυρίου γιατί είναι και τα μόνα που βρέθηκαν στους οργανισμούς των κατοίκων της περιοχής, ο μόλυβδος στο αίμα και στα νεογιλά δόντια και το αρσενικό στα ούρα, και συνεπώς τα πιο επιβλαβή για την υγεία, όπως αναφέρουν οι Demetriades et al. (1999b).

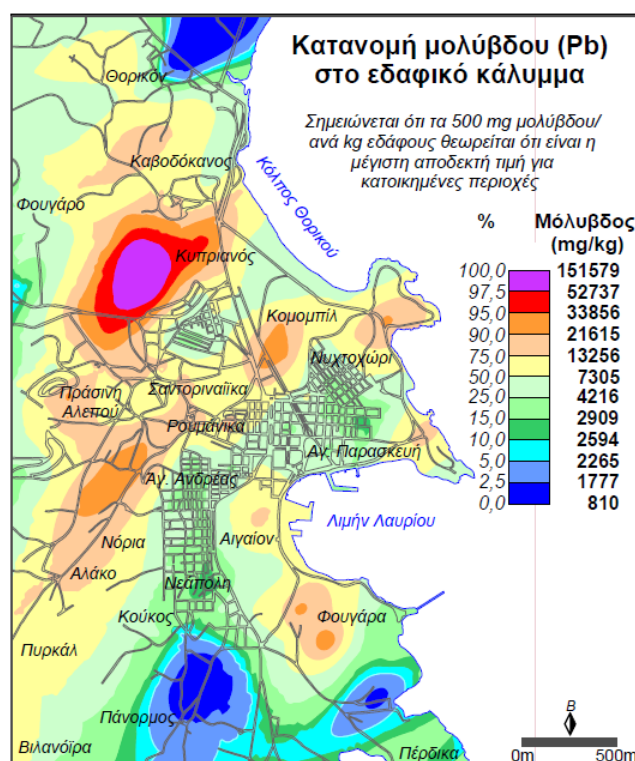
Ο **μόλυβδος** σε όλα τα πετρώματα του Λαυρίου κυμαίνεται από <1 mg/kg έως 1.850 mg/kg με μέση τιμή 76,9 mg/kg, διάμεσο 22 mg/kg και συντελεστή διακύμανσης 272% . Από αυτά τα στατιστικά δεδομένα φαίνεται ότι τα πετρώματα περιέχουν υψηλό ποσοστό μολύβδου σε συγκεκριμένες θέσεις και περιορισμένη έκθεση, κάτι που επαληθεύεται και από τη γεωγραφική του κατανομή (Σχ. 16). Φαίνεται ότι μόνο στο 10% της έκτασης της περιοχής έχει σχετικά υψηλές τιμές (>135mg/kg).

Στο επιφανειακό έδαφος του Λαυρίου η χωρική κατανομή του μολύβδου καθορίζεται κυρίως από τα μεταλλουργικά απόβλητα (απορρίμματα επίπλευσης, πυρίτες και σκουριές)

και φαίνεται στο Σχήμα 17. Οι τιμές του Pb κυμαίνονται από 810 έως 151.579 mg/kg, με μέση τιμή 11.578 και διάμεση 7.305 mg/kg. Είναι εμφανές ότι αυτές οι υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου (>810 mg/kg) στο έδαφος οφείλονται σε ανθρωπογενή αίτια και συγκεκριμένα στις μεταλλουργικές δραστηριότητες καθώς δεν υπάρχει καμία συσχέτιση με την γεωγραφική κατανομή του στα μητρικά πετρώματα. Το υλικό από τις καμίνους και ο μεγάλος όγκος μεταλλουργικών απορριμμάτων καθώς και η μετέπειτα μεταφορά τους από φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια οδήγησαν στην επέκταση της ρύπανσης ακόμα και των πιο απομακρυσμένων περιοχών. Έτσι ολόκληρη η έκταση της αστικής περιοχής του Λαυρίου ξεπερνάει κατά πολύ τα νομοθετημένα όρια για οικιστικές περιοχές που είναι 500 mg/kg (ICRCL 1987) και τα όρια φυτοτοξικότητας (200 mg/kg).



Σχ. 16. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στα μητρικά πετρώματα του Λαυρίου (n=140) (Δημητριάδης κ.ά. 2001)

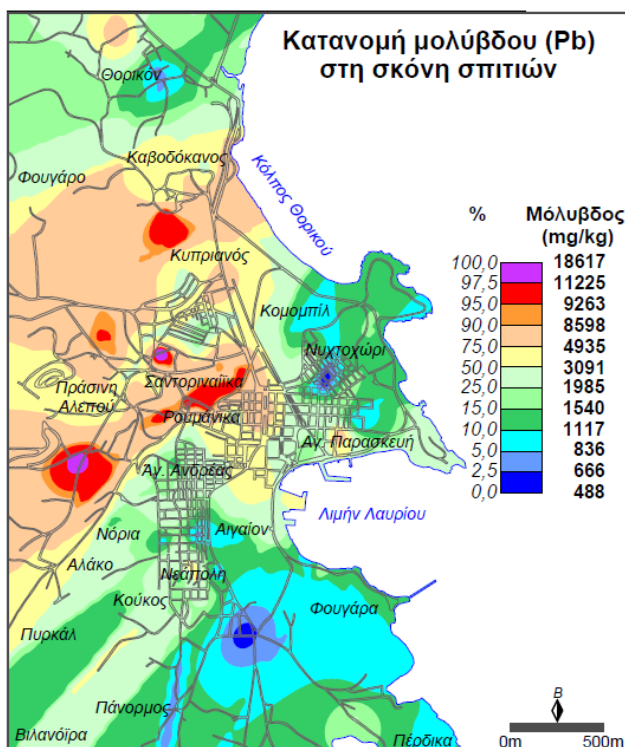


Σχ. 17. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα του Λαυρίου (n=224) (Δημητριάδης κ.ά. 2001)

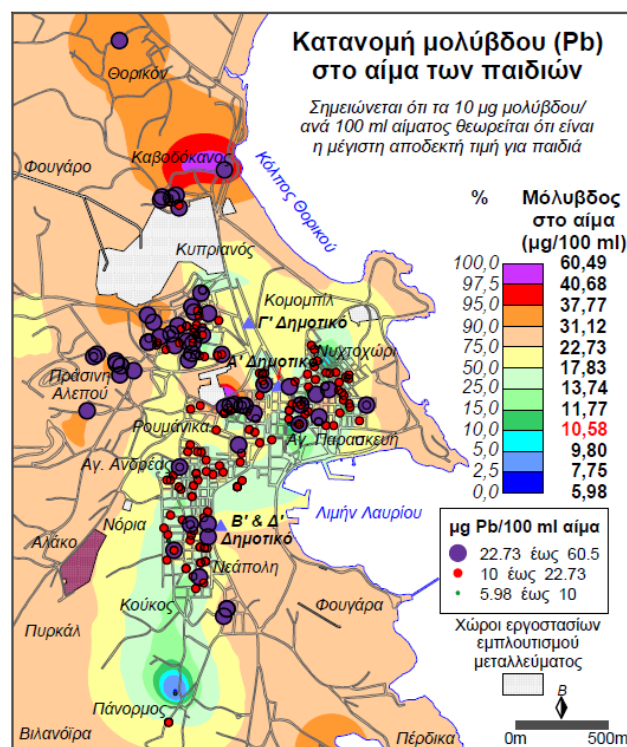
Οι συγκεντρώσεις μολύβδου μετρήθηκαν και στην σκόνη των σπιτιών του Λαυρίου όπου επίσης οι τιμές είναι πάρα πολύ υψηλές (488-18.617 mg/kg, διάμεσος 3.091 mg/kg), γεγονός το οποίο είναι εξαιρετικά ανησυχητικό. Η γεωγραφική κατανομή του στην σκόνη των σπιτιών (Σχήμα 18) παρουσιάζει ομοιότητες με αυτήν του εδάφους (Σχήμα 17).

Με βάση τα στοιχεία της επιδημιολογικής έρευνας του 1987 (Makropoulos et al. 1991, 1992a,b), που έγινε σε 235 παιδιά, και σε συσχέτιση με την χωρική κατανομή των μεταλλουργικών αποβλήτων (Σχ. 15), του μολύβδου στο έδαφος (Σχ.17) και στην σκόνη των

σπιτιών (Σχ. 18) σχεδιάστηκε η γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο αίμα των παιδιών η οποία φαίνεται στο Σχήμα 19. Από αυτήν συμπεραίνεται ότι τα παιδιά με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα (22,73-60,5 μg ανά 100 ml αίματος) διαμένουν, όπως



Σχ. 18. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στη σκόνη των σπιτιών του Λαυρίου (n=127) (Δημητριάδης κ.ά. 2001).



Σχ. 19. Γεωγραφική κατανομή του μολύβδου στο αίμα των παιδιών του Λαυρίου (n=235) (Δημητριάδης κ.ά. 2001).

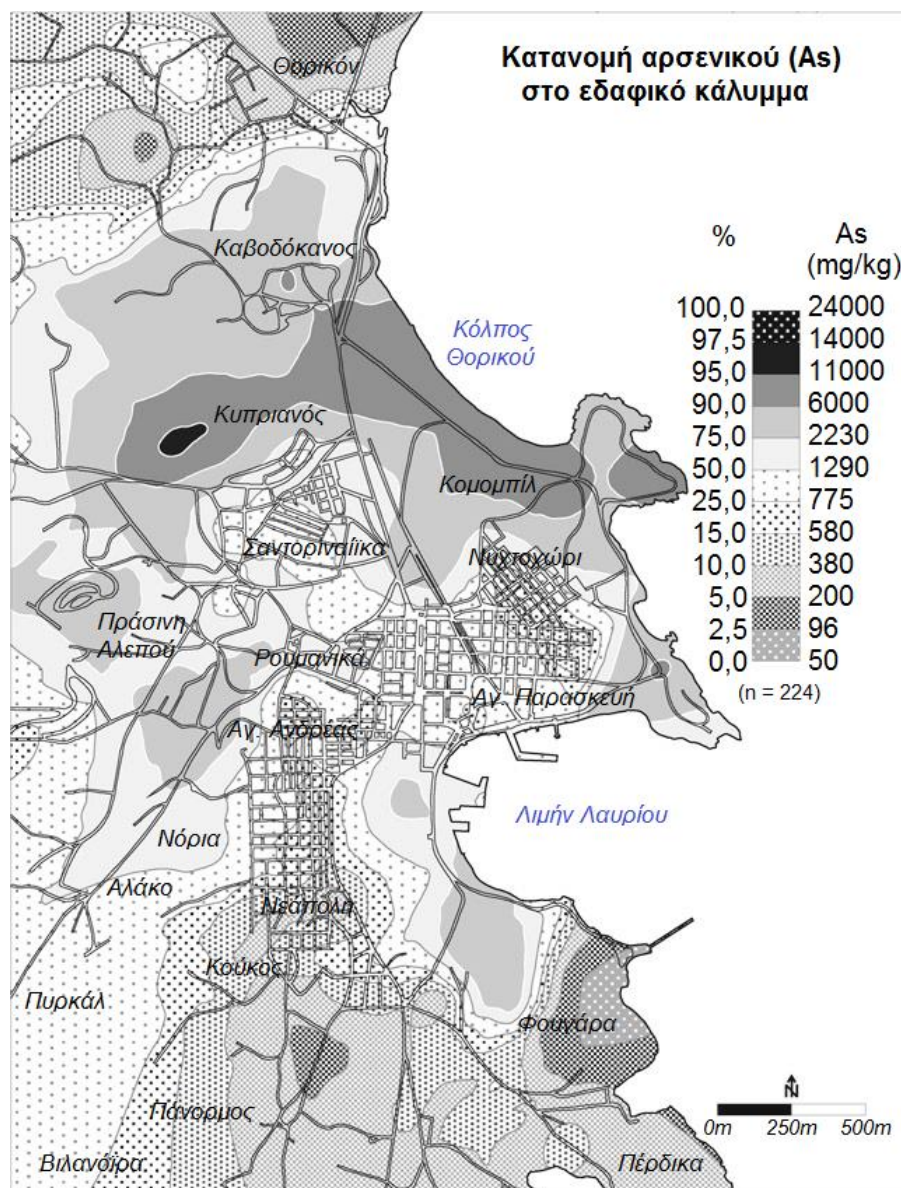
είναι λογικό, σε περιοχές όπου υπάρχουν σωροί αποβλήτων και υψηλές τιμές μολύβδου στο έδαφος και στην σκόνη των σπιτιών. Ιδιαίτερα στους οικισμούς γύρω από το πρώην εργοστάσιο της Γαλλικής Εταιρίας. Φαίνεται επίσης ότι το 90% των 235 παιδιών έχουν περισσότερο από 10 μg ανά 100 ml αίματος που θεωρείται η μέγιστη αποδεκτή τιμή για παιδιά.

Οι συγκεντρώσεις του **αρσενικού** στο επιφανειακό κάλυμμα φαίνονται στο σχήμα X και παρατηρείται ότι οι πολύ υψηλές (>1290 $\mu\text{g}/\text{kg}$) βρίσκονται στην άμεση «γειτονία» των θέσεων όπου υπάρχουν μεταλλουργικά απόβλητα (βλ. και σχήμα Y). Οι υψηλότερες τιμές (>6,000-24,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$) βρίσκονται στις θέσεις απορριμμάτων σιδηροπυρίτη και στη θέση όπου βρισκόταν το μεταλλουργείο της Γαλλικής Εταιρίας, η οποία ξεχωρίζει (η μαύρη περιοχή στον χάρτη του σχήματος 20). Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις αρσενικού στα ούρα, από μελέτη σε 65 ενήλικους κατοίκους το 1998 φάνηκε ότι το 37% από αυτούς είχαν τιμές πάνω από τα επιτρεπτά όρια των 100 μg As ανά λίτρο ούρων (Δημητριάδης κ.ά. 2001). Για

τα παιδιά, από μελέτη των Eikmann et al. (1991), φαίνεται ότι το 8,4% από 235 παιδιά έχει συγκεντρώσεις πάνω από το ανώτατο επιτρεπτό όριο των 20 $\mu\text{g As}$ στα ούρα του 24ώρου.

Είναι εμφανές από τα δεδομένα ότι τα μεταλλουργικά απόβλητα ευθύνονται για την

ρύπανση του επιφανειακού καλύμματος και κατά συνέπεια της σκόνης των σπιτιών του Λαυρίου και αποτελούν κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων ακόμα, παρά το γεγονός ότι η εκμετάλλευση των μεταλλείων και η μεταλλουργία έχει σταματήσει εδώ και 35 χρόνια. Επακόλουθο της επιφανειακής περιβαλλοντικής ρύπανσης είναι τα υψηλά ποσοστά τοξικών στοιχείων στο αίμα και τα ούρα των κατοίκων και οι επιπτώσεις στην υγεία τους. Σημαντικό ρόλο για αυτές παίζει και η βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων, στην οποία θα αναφερθούμε παρακάτω.



Σχ. 20. Γεωγραφική κατανομή του αρσενικού στο εδαφικό κάλυμμα του Λαυρίου (Demetriades et al. 1999a)

3.5. Επιπτώσεις στην υγεία και βιοδιαθεσιμότητα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι κάτοικοι του Λαυρίου, ενήλικες και παιδιά, έχουν υψηλά ποσοστά μόλυβδου στο αίμα και αρσενικού στα ούρα. Τα παιδιά έχουν επίσης υψηλά ποσοστά μόλυβδου στα νεογιλά δόντια σύμφωνα με έρευνα που έγινε το 1991, δέκα χρόνια μετά το κλείσιμο των μεταλλουργείων (Stavrakis et al. 1994, Δημητριάδης κ.ά. 2001), γεγονός που δείχνει ότι ο μόλυβδος είναι ακόμη διαθέσιμος για απορρόφηση. Με βάση τα

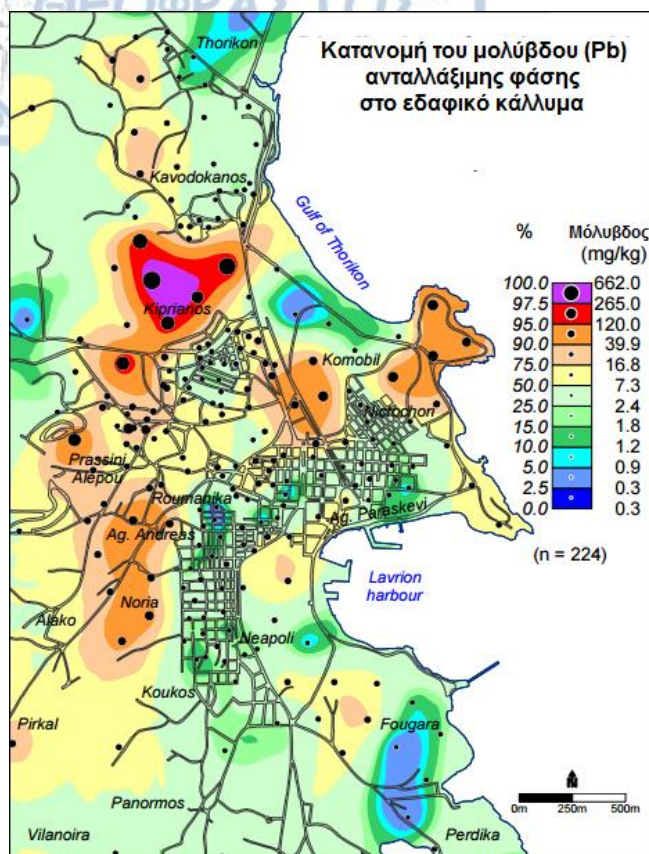
αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών που αναφέραμε παραπάνω φαίνεται να υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των υψηλών συγκεντρώσεων μολύβδου στο αίμα των παιδιών και των σύνθετων νοητικών λειτουργιών (δείκτης νοημοσύνης, προβλήματα συγκέντρωσης και ομιλίας) καθώς και της μειωμένης σωματικής ανάπτυξης. Στους ενήλικες έχουν παρατηρηθεί πολλά νευρολογικά προβλήματα, εκτός από την μολυβδίαση η οποία πρόσβαλε κυρίως τους εργαζομένους στα μεταλλεία και το εργοστάσιο εμπλουτισμού (Χατζηγεωργίου 1998).

3.5.1. Βιοδιαθεσιμότητα

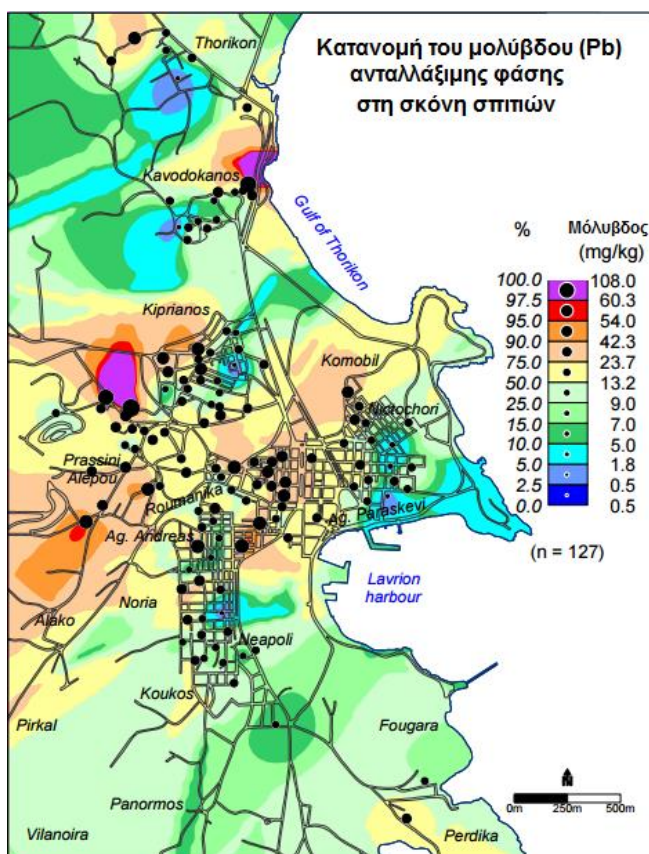
Οι επιπτώσεις των τοξικών στοιχείων στην υγεία δεν οφείλονται μόνο στις υψηλές συγκεντρώσεις τούς στο περιβάλλον αλλά και στην βιοδιαθεσιμότητα τους, δηλαδή την δυνατότητα πρόσληψής τους από τα φυτά, τα ζώα και τους ανθρώπους. Αυτή εξαρτάται από τον τρόπο εμφάνισης του στοιχείου και τις συνθήκες πεχά (pH) και δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh).

Για το Λαύριο μελετήθηκε η βιοδιαθεσιμότητα του μολύβδου με την μέθοδο των διαδοχικών εκχυλίσεων (Demetriades et al. 2010). Μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις των διαφόρων κλασμάτων-φάσεων μολύβδου από τα δείγματα εδάφους και σκόνης σπιτιών και η χωρική κατανομή τους. Το πρώτο κλάσμα είναι του ανταλλάξιμου μολύβδου και είναι το πιο διαθέσιμο στους οργανισμούς ακόμα και σε συνθήκες ουδέτερου pH ενώ το δεύτερο κλάσμα του μολύβδου ανθρακικής φάσης επίσης μπορεί να γίνει εύκολα διαθέσιμο στις συνθήκες πολύ όξινου pH που επικρατούν στο ανθρώπινο στομάχι. Τα άλλα δύο κλάσματα του αναγώγιμου και οξειδώσιμου μολύβδου γίνονται πολύ δυσκολότερα διαθέσιμα.

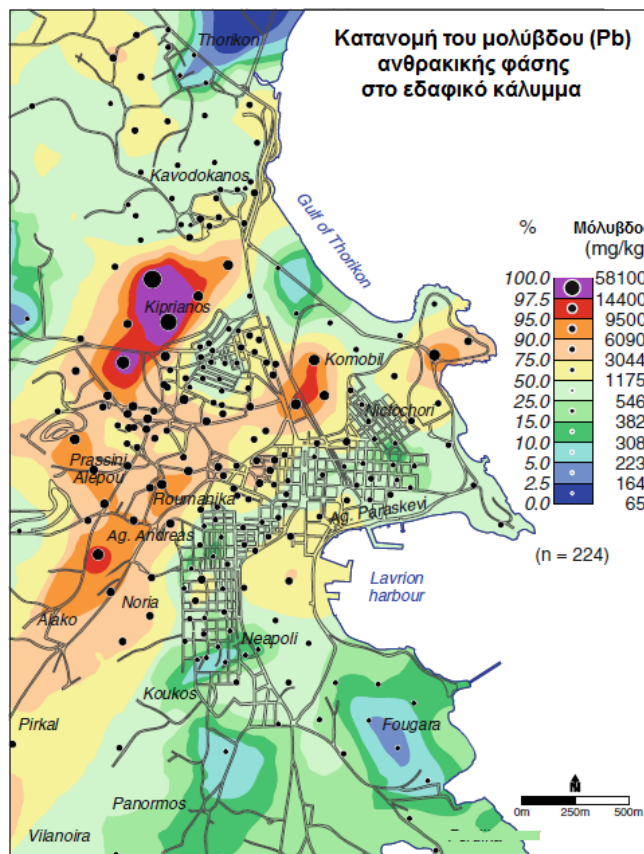
Στους χάρτες φαίνεται η χωρική κατανομή και οι συγκεντρώσεις του πρώτου και του δεύτερου κλάσματος του μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα και στην σκόνη των σπιτιών (Σχήματα 21-24). Οι συγκεντρώσεις του ανταλλάξιμου μολύβδου (Σχ. 21-22) είναι σχετικά μικρές σε σύγκριση με τις ολικές συγκεντρώσεις του μετάλλου αλλά παρ' όλα αυτά είναι σημαντικές (μέχρι 662 mg/kg στο έδαφος και 108 mg/kg στη σκόνη των σπιτιών). Επίσης φαίνεται ότι μεγάλο ποσοστό του ολικού μολύβδου ανήκει στην ανθρακική εύκολα διαθέσιμη φάση με συγκεντρώσεις μέχρι 58.100 mg/kg στο εδαφικό κάλυμμα και 6.880 στην σκόνη των σπιτιών (Σχ.23-24). Συνεπώς ο κίνδυνος της έκθεσης του πληθυσμού στον μόλυβδο και οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία είναι μεγάλες.



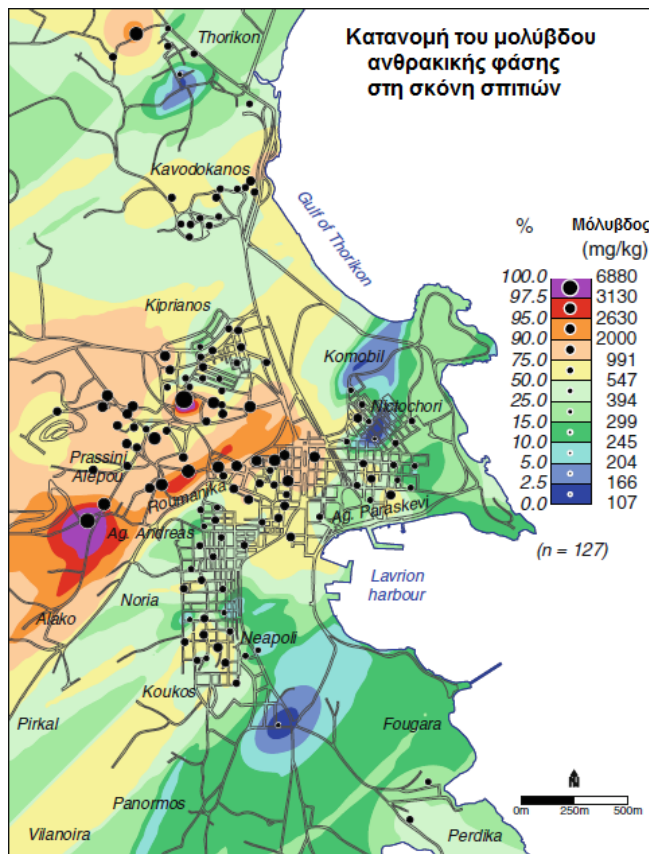
Σχ. 21. Γεωγραφική κατανομή του ανταλλάξιμου μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα του Λαυρίου (Demetriades et al. 1999c).



Σχ. 22. Γεωγραφική κατανομή του ανταλλάξιμου μολύβδου στην σκόνη των σπιτιών του Λαυρίου (Demetriades et al. 1999c).



Σχ. 23. Γεωγραφική κατανομή του ανθρακικού μολύβδου στο εδαφικό κάλυμμα του Λαυρίου (Demetriades et al. 1999c).



Σχ. 24. Γεωγραφική κατανομή του ανθρακικού μολύβδου στην σκόνη των σπιτιών του Λαυρίου (Demetriades et al. 1999c).

3.6. Υπόγεια νερά και θαλάσσια ιζήματα

Επειδή η μόλυνση εκτός από επιφανειακά (απόβλητα, έδαφος) μπορεί να συνεχιστεί και υπογείως και να επηρεάσει τον υδροφόρο ορίζοντα μελετήθηκε από τους Demetriades and Vergou-Vichou (1999c) η γεωχημεία του υπόγειου νερού στην αστική και ευρύτερη περιοχή του Λαυρίου.

Στον πίνακα 5 φαίνονται οι στατιστικές παράμετροι των διαφόρων χημικών μεταβλητών από 15 δείγματα στο Λαύριο και συμπεραίνεται αρχικά ότι οι συγκεντρώσεις νιτρικών (NO_3) και θεικών (SO_4^{2-}) αλάτων υπερβαίνουν τα μέγιστα επιτρεπτά όρια. Αυτές οι ανωμαλίες οφείλονται στις εκτενείς αγροτικές δραστηριότητες καθώς και στην διείσδυση του θαλασσινού νερού αντίστοιχα. Τα θειικά άλατα μπορεί να προέρχονται εν μέρη και από τα μεταλλουργικά απόβλητα. Το μαγγάνιο υπερβαίνει επίσης την μέγιστη συνιστώσα τιμή σε πηγάδι που βρίσκεται στο Θορικό και κοντά σε οξειδωμένα απορρίμματα πυρίτη. Το ίδιο πηγάδι έχει σχετικά υψηλές τιμές σιδήρου, νικελίου και θεικών αλάτων οι οποίες πιθανότατα προκύπτουν από έκπλυση αυτών των στοιχείων από την όξινη απορροή των αποβλήτων (Δημητριάδης κ.α. 2001). Για τον μόλυβδο, τον ψευδάργυρο και το κάδμιο οι τιμές είναι κάτω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια αλλά σχετικά υψηλές και υποδηλώνουν ότι η λαμβάνει χώρα η αποδέσμευση τους από τα απόβλητα και η κατείσδυσή τους στα υπόγεια νερά.

Από άλλη μελέτη των Stamatis et. al (2001), η οποία κάλυψε μεγαλύτερη περιοχή με 31 δείγματα, επαληθεύονται οι παραπάνω παρατηρήσεις και επιπρόσθετα συμπεραίνεται ότι το 66% των δειγμάτων ξεπερνάει τα όρια μολύβδου και το 75% τα όρια του καδμίου για πόσιμο νερό.

Στατιστικές παράμετροι	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	SO_4^{2-}	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+
	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	mg/l	μg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Όριο ανίχνευσης	1	10	10	1	1	10	10	10	0,1	0,001	0,3	0,001
Μέγιστη συνιστώσα συκέντρωση	5,0	50,0	3000,0	200,0	50,0	50,0	50,0	5000,0	250,0	0,1	50,0	0,5
Ελάχιστη τιμή	<1,0	<10,0	<10,0	<1,0	19,0	<10,0	<10,0	10,0	18,6	0,0	<0,3	0,0
Μέγιστη τιμή	4,0	10,0	110,0	36,0	1970,0	10,0	30,0	1000,0	1405,0	14,0	137,7	0,8
Μέση τιμή	1,2	6,3	15,3	13,5	176,7	6,3	10,3	211,3	377,2	0,9	44,7	0,1
Διάμεση τιμή	1,0	5,0	5,0	9,0	32,0	5,0	5,0	60,0	317,5	0,0	37,4	0,1
Πρώτο τεταρτημόριο	0,5	5,0	5,0	2,8	25,0	5,0	5,0	30,0	207,6	0,0	21,9	0,0
Τρίτο τεταρτημόριο	1,0	8,8	10,0	24,3	40,8	8,8	10,0	165,0	423,8	0,0	52,4	0,1
Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	0,3	0,6	7,0	3,2	129,1	0,6	2,3	82,0	81,9	0,9	9,6	0,1
95% διάστ. εμπ. μέσης τιμής	0,7	1,3	14,9	7,0	277,0	1,3	5,0	175,8	175,7	2,0	20,6	0,1
99% διάστ. εμπ. μέσης τιμής	0,9	1,8	20,9	9,7	387,0	1,8	6,9	245,6	245,5	2,8	28,8	0,2
Τυπική απόκλιση ($\pm$)	1,2	2,3	27,0	12,6	500,1	2,3	9,0	317,4	317,2	3,6	37,2	0,2
Συντελεστής διακύμανσης (%)	96,7	36,1	175,8	93,0	283,1	36,1	86,7	150,2	84,1	386,5	83,2	158,2

Πίνακας 5. Στατιστικές παράμετροι των χημικών μεταβλητών του υπογείου νερού στην αστική περιοχή του Λαυρίου (n=15). Οι παράμετροι που υπερβαίνουν τα ανώτατα αποδεκτά όρια έχουν τονιστεί με έντονη γραφή. (Demetriades and Vergou-Vichou 1999c).

Φαίνεται λοιπόν ότι εκτός από την υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων νερών από αγροτικές δραστηριότητες και τις υπεραντλήσεις που οδήγησαν σε διείσδυση του θαλασσινού νερού, έχει ξεκινήσει και η ρύπανσή τους από τα βαρέα μέταλλα που προέρχονται από την οξείδωση και όξινη απορροή των απορριμάτων σουλφιδίων (σιδηροπυρίτη) κυρίως.

Τέλος, σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Ιζηματολογικής Ένωσης (2006), η ρύπανση επεκτείνεται και στο θαλάσσιο χώρο της Λαυρεωτικής. Μελετήθηκε σε 20 θέσεις στα ανατολικά της Λαυρεωτικής χερσονήσου η χημική σύσταση των επιφανειακών θαλάσσιων ιζημάτων στα ανατολικά παράκτια της Λαυρεωτικής χερσονήσου και διαπιστώθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις Pb, Zn, As, Mn και Cd, τα οποία προέρχονται από σουλφίδια (Kelepertsis and Alexakis 2004). Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στους έμβιους οργανισμούς και υποβαθμίζουν σημαντικά την περιβαλλοντική ποιότητα των θαλάσσιων ιζημάτων.

4. Προτάσεις για το μέλλον

Δεδομένης της έντονης και εκτεταμένης ρύπανσης στην Λαυρεωτική χερσόνησο και στο αστικό Λαύριο, η οποία παρουσιάστηκε παραπάνω, κρίνεται απαραίτητη η δράση για την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων της περιοχής. Αυτές οι δράσεις μπορεί να είναι είτε άμεσες (περιβαλλοντική αποκατάσταση, σχεδιασμός χρήσεων γης) είτε έμμεσες (ενημέρωση και συμβουλές προς τους κατοίκους).

Βέβαια η περιβαλλοντική αποκατάσταση είναι το σημαντικότερο μέλημα, όχι μόνο γιατί θα έλυνε αυτομάτως τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, αλλά θα έδινε και μια «ανάσα» στο περιβάλλον και στο οικοσύστημα γενικότερα. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να μεταφερθούν οι κάτοικοι σε άλλο πιο υγιές περιβάλλον. Επίσης, κατά την προσωπική μου γνώμη, είναι και υποχρέωσή μας μπροστά σε μια περιβαλλοντική καταστροφή τέτοιας κλίμακας και στοχεύοντας σε μια αειφόρο ανάπτυξη. Βέβαια, λόγω της πολύ μεγάλης έκτασης της περιοχής και έντασης της ρύπανσης, είναι θεμιτό να ληφθούν αρχικά κάποια μέτρα για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης των πολιτών στα τοξικά μέταλλα. Η Ελληνική Νομοθεσία έχει ενσωματώσει την οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τη διαχείριση των αποβλήτων της εξορυκτικής βιομηχανίας (COM/2003/0319 τελικό – COD 2003/0107), αλλά το σημαντικότερο ζήτημα είναι να εφαρμοστεί ο νόμος.

Συνεπώς, όσον αφορά τον Δήμο Λαυρεωτικής ο οποίος βρίσκεται και στο επίκεντρο της ρύπανσης, θα έπρεπε να σταματήσει η χρησιμοποίηση των μεταλλουργικών αποβλήτων για οικοδομική ή άλλη χρήση, καθώς και η μεταφορά τους εκτός Λαυρίου, λόγω της υψηλής τοξικότητάς τους. Επίσης πρέπει να υπάρξει ενημέρωση των κατοίκων για τις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία από το μολυσμένο περιβάλλον και των τρόπων με τους οποίους μπορεί να προστατευτεί προσωρινά (μέχρι να αποκατασταθεί η περιοχή ή να μεταφερθούν οι κάτοικοι) καθώς και να παρακολουθείται η κατάσταση της υγείας του πληθυσμού. Αυτές οι κινήσεις θα έπρεπε να γίνουν και από τους υπόλοιπους Δήμους και Κοινότητες της χερσονήσου (Κερατέας, Αναβύσσου, Παλαιάς Φώκαιας).

Ορισμένες από τις συμβουλές προς τους κατοίκους για την προσωρινή προστασία τους είναι να μην καλλιεργούν λαχανικά, ελιές και αμπέλια και να μην συλλέγουν άγρια χόρτα διότι απορροφούν εύκολα τα τοξικά στοιχεία. Επίσης, λόγω του υψηλού ποσοστού βαρέων μετάλλων στην σκόνη των σπιτιών, πρέπει να αποφεύγονται οι μέθοδοι καθαρίσματος του σπιτιού που σηκώνουν την σκόνη στον αέρα (σκούπα χειρός, ξεσκόνισμα με φτερό, τίναγμα χαλιών). Οι γονείς πρέπει να επιστήσουν την προσοχή στα παιδιά και να μην τα αφήνουν να παίζουν στο χώμα όπως και να τους μάθουν να πλένουν συχνά τα χέρια τους (Δημητριάδης κ.ά. 2001).

Επίσης στην Λαυρεωτική η χερσόνησο εκτός από τα οικιστικά κέντρα και τις βιομηχανίες η γη χρησιμοποιείται σε σημαντικό βαθμό και για αγροτικές δραστηριότητες (γεωργία, κτηνοτροφία, πτηνοτροφία και ζώα ελεύθερας βοσκής) οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε ένα ιδιαίτερα μολυσμένο περιβάλλον. Όπως είδαμε το έδαφος και τα φυτά έχουν πολύ υψηλή τοξικότητα όπως πιθανά και το υπόγειο νερό. Έτσι, μέσω των ζωικών και φυτικών τροφών που καταναλώνονται, ο τοπικός πληθυσμός προσλαμβάνει τοξικά στοιχεία. Συνίσταται λοιπόν ο έλεγχος της γεωχημικής ποιότητας και του επιπέδου τοξικότητας των υπόγειων νερών που χρησιμοποιούνται για αγροτικούς σκοπούς. Ίσως πρέπει να εφαρμοστεί ακόμα και η παύση κάθε αγροτικής δραστηριότητας μέχρι την περιβαλλοντική αποκατάσταση της περιοχής. Σίγουρα επιβάλλεται ένας ορθολογικός ανασχεδιασμός των χρήσεων γης από τους αρμόδιους φορείς (Περιφέρεια Αττικής, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Δήμοι και Κοινότητες Λαυρεωτικής) με βάση τα στοιχεία των περιβαλλοντικών μελετών.

4.1 Περιβαλλοντική αποκατάσταση

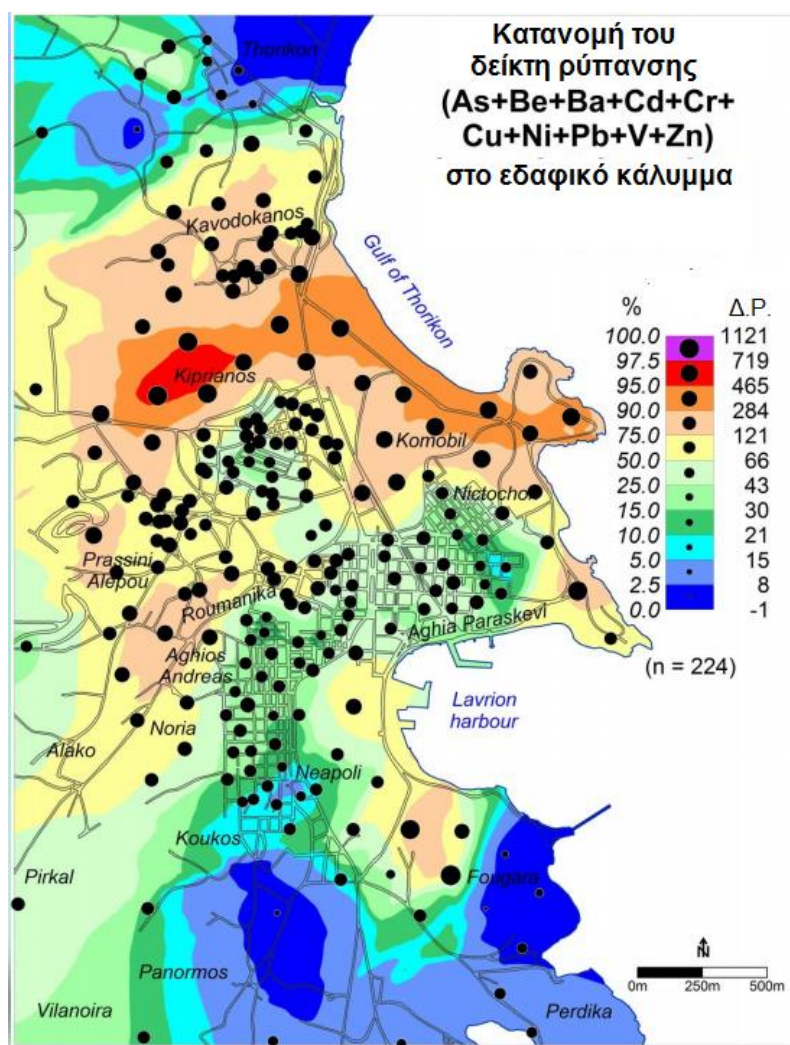
Στο πλαίσιο της προσπάθειας για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης των κατοίκων στους ρύπους, και ιδιαίτερα των παιδιών τα οποία προσβάλλονται περισσότερο, είναι απαραίτητη

μια επιλεκτική τουλάχιστον αποκατάσταση του εδάφους στην αστική περιοχή του Λαυρίου όπου είναι συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού και εντονότερη η ρύπανση. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός κάποιων περιβαλλοντικών και άλλων δεικτών για την εκπόνηση ενός σχεδίου περιβαλλοντικής διαχείρισης και την ταξινόμηση των περιοχών στην οποίες πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην αποκατάσταση.

4.1.1 Δείκτης ρύπανσης

Με βάση τις συγκεντρώσεις των δέκα σημαντικότερων ρύπων (Αρσενικό [As], Βηρύλλιο [Be], Βάριο [Ba], Κάδμιο [Cd], Χρώμιο [Cr], Χαλκός [Cu], Νικέλιο [Ni], Μόλυβδος [Pb], Βανάδιο [V] και Ψευδάργυρος [Zn]) και τα τοποδειδικά εδαφικά όρια περιβαλλοντικής δράσης (site-specific Soil Action Levels [SALs]) που υπολογίστηκαν για το Λαύριο για το καθένα υπολογίστηκε ένας δείκτης ρύπανσης από την σχέση: Δείκτης Ρύπανσης (Δ.Ρ.) = $[As/25 + Ba/5.500 + Be/2 + Cd/40 + Cr/140 + Cu/2.300 + Ni/1.500 + Pb/500 + V/550 + Zn/20.000]$ - 10 (Demetriades 2010).

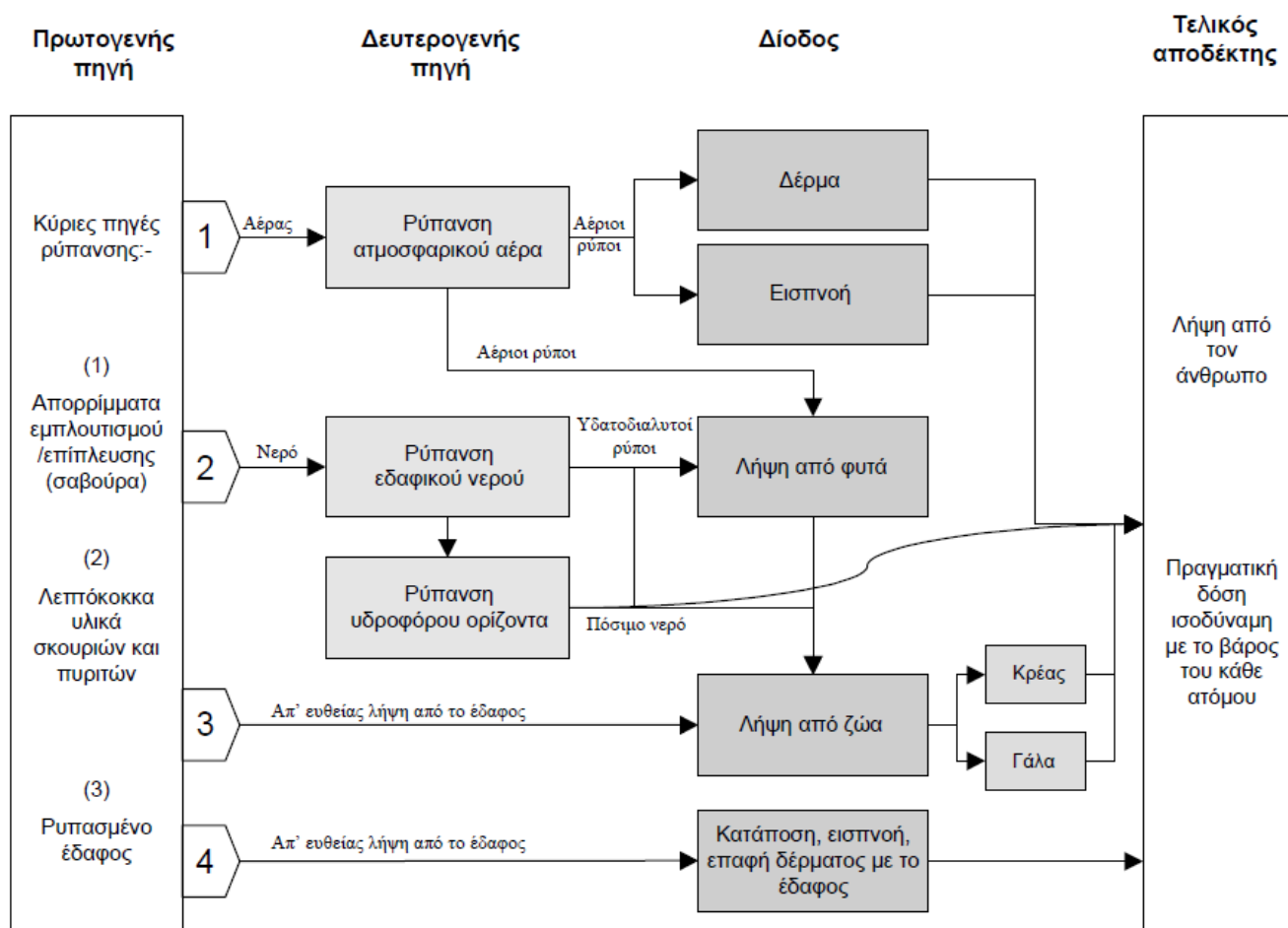
Ο αριθμός με τον οποίο διαιρείται η συγκέντρωση του κάθε στοιχείου είναι το όριο συγκέντρωσής του για περιβαλλοντική δράση σε ppm. Η αφαίρεση με το 10 γίνεται έτσι ώστε η τιμή 0 του δείκτη να αντιστοιχεί στο όριο δράσης. Φαίνεται στον χάρτη κατανομής του Δ.Ρ. (Σχ. 25) ότι όλη η αστική περιοχή του Λαυρίου ξεπερνάει τα όρια ρύπανσης μέχρι και 1.121 φορές (κυρίως λόγω των πολύ υψηλών συγκεντρώσεων μολύβδου και αρσενικού) (Demetriades 2010).



Σχ. 25. Γεωγραφική κατανομή του δείκτη ρύπανσης στο εδαφικό κάλυμμα του Λαυρίου. (Demetriades et al. 1999b)

4.1.2. Εκτίμηση επικινδυνότητας/έκθεσης

Ένας σημαντικός δείκτης είναι ο καθορισμός του βαθμού επικινδυνότητας και έκθεσης των παιδιών, τα οποία εκτίθενται περισσότερο και αντιμετωπίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο από τους ενήλικες, στη ρύπανση έτσι ώστε να αποκατασταθούν άμεσα οι πιο επικίνδυνες περιοχές. Για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας έκθεσης των ανθρώπων στους ρύπους, και κατά συνέπεια των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία, παραθέτουμε το σχήμα «πηγής ρύπανσης-διόδου-αποδέκτη» (Σχ. 26). Η πρωτογενής λοιπόν πηγή ρύπανσης στο Λαύριο είναι οι σωροί μεταλλουργικών αποβλήτων από τις νεώτερες κυρίως εξορύξεις των τελευταίων ~100 χρόνων. Οι φυσικές και ανθρωπογενείς διαδικασίες όμως επέκτειναν την ρύπανση και έτσι δημιουργήθηκε μια εκτεταμένη δευτερεύουσα πηγή ρύπανσης που είναι το επιφανειακό έδαφος. Στην συνέχεια μέσω των διάφορων δίοδων οι ρύποι προσλαμβάνονται από τους ανθρώπους. Στην εκτίμηση της επικινδυνότητας λήφθηκαν υπόψη οι δίοδοι απευθείας λήψης με κατάποση ή εισπνοή εδάφους ή σκόνης διότι σε αυτές αποδίδονται και τα προβλήματα υγείας, ενώ δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την λήψη από την κατανάλωση τοπικών τροφίμων και το πόσιμο νερό έρχεται από το κεντρικό δίκτυο της



Σχ. 26. Σχηματικό μοντέλο «πηγής ρύπανσης-διόδου-αποδέκτη» για την αστική περιοχή του Λαυρίου (Δημητριάδης κ.ά. 2001).

ΕΥΔΑΠ (Δημητριάδης κ.ά. 2001).

Για την ημιποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας και του βαθμού έκθεσης, και για την κατασκευή των αντίστοιχων χαρτών, λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω κριτήρια (Tristan et al. 2000, Δημητριάδης κ.ά. 2001):

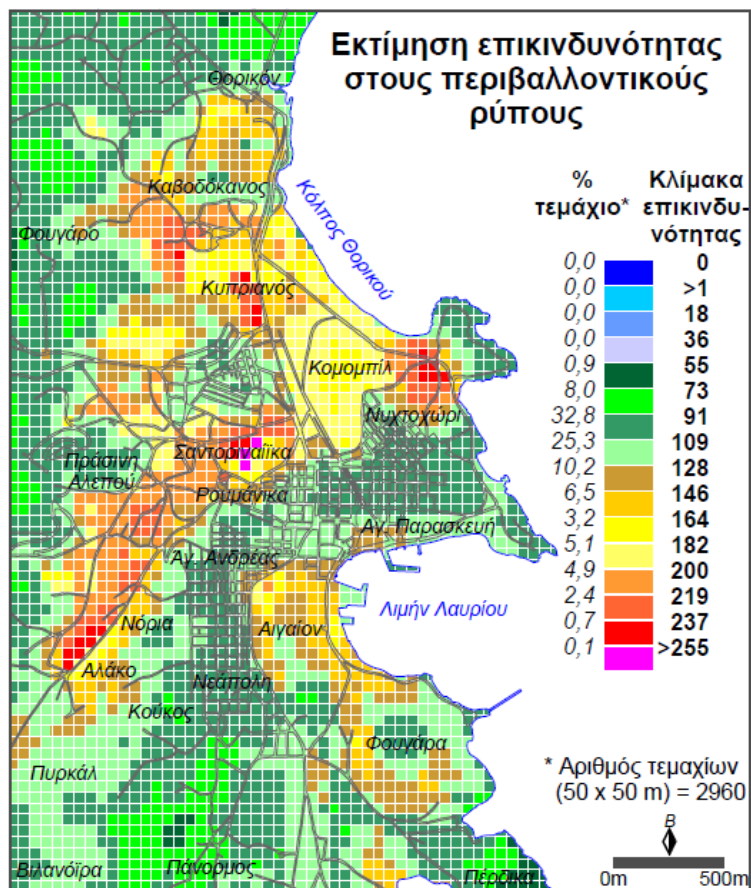
- Η συγκέντρωση του ολικού μολύβδου στο έδαφος
- Ο βαθμός κονιορτοποίησης των ρυπαντών (αποβλήτων, εδάφους)
- Η γειτνίαση με μεταλλουργικά απόβλητα
- Η γειτνίαση με υπάρχουσες ή παλιές μεταλλουργικές κάμινους
- Η γειτνίαση με δρόμους (με έμφαση στους χωματόδρομους)
- Η γειτνίαση με βιομηχανίες μολύβδου
- Ο χρόνος ή δείκτης έκθεσης των παιδιών (αυτό το κριτήριο χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον βαθμό έκθεσης)

Και περιορισμοί:

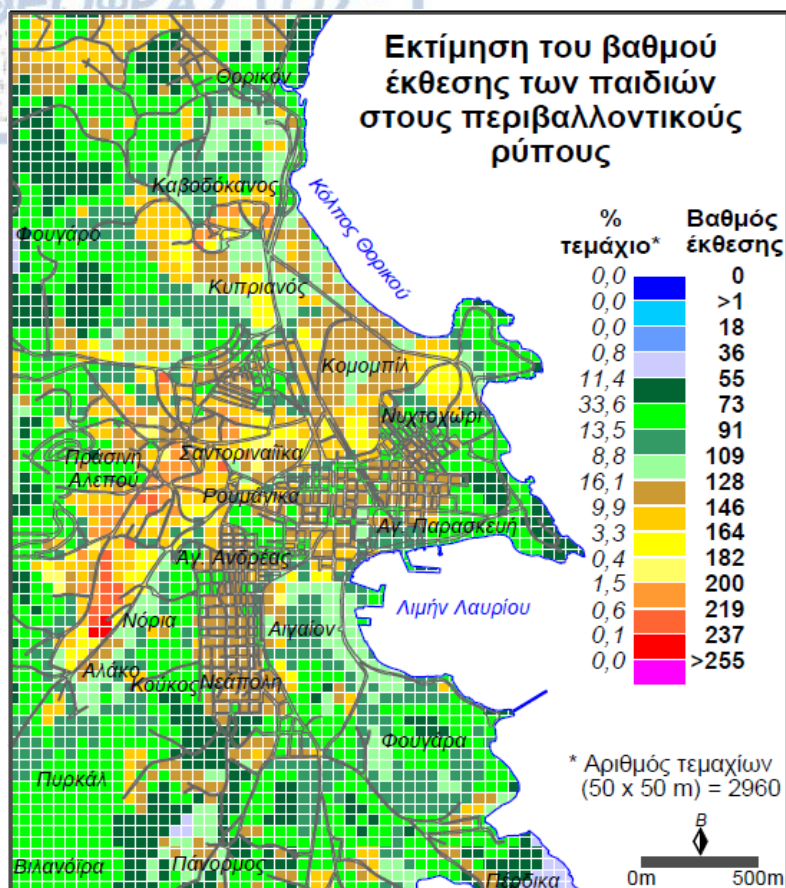
- Περιοχές με βιομηχανίες σχετικές με μέταλλα
- Περιοχές με Τεταρτογενής αποθέσεις

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία κατασκευάστηκαν ο χάρτης επικινδυνότητας (Σχ. 27) και ο χάρτης έκθεσης των παιδιών στους ρύπους (Σχ. 28).

Σε σχέση με τα μεταλλουργικά απόβλητα συμπεραίνεται ότι τα απορρίμματα επίπλευσης είναι τα πιο επικίνδυνα λόγω των φυσικών χαρακτηριστικών τους και των υψηλών ποσοστών μολύβδου. Το ρυπασμένο έδαφος αν και έχει μικρότερο δείκτη επικινδυνότητας θεωρείται υψηλής επικινδυνότητας διότι καταλαμβάνει μεγάλη έκταση. Για τις χρήσεις γης συμπεραίνεται ότι τα γήπεδα και οι χώροι άθλησης είναι οι πλέον εκτεθει-



Σχ. 27. Χάρτης εκτίμησης επικινδυνότητας (Tristan et al. 2000, Δημητριάδης κ.ά. 2001).



Σχ.28. Χάρτης εκτίμησης βαθμού έκθεσης (Tristan et al. 2000, Δημητριάδης κ.ά. 2001).

μένες περιοχές, καθώς και οι αγροτικές και οικιστικές περιοχές (Δημητριάδης κ.ά. 2001).

Φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο χαρτών (Σχ. 27 και Σχ. 28), αλλά η αποκατάσταση του περιβάλλοντος στο Λαύριο πρέπει να γίνει δίνοντας βάση και προτεραιότητα στον βαθμό έκθεσης των παιδιών στους ρύπους.

4.1.3 Κόστος, όφελος και μέθοδοι αποκατάστασης

Για την ταξινόμηση των περιοχών με μεγαλύτερη προτεραιότητα στην περιβαλλοντική αποκατάσταση είναι απαραίτητος ο υπολογισμός ενός δείκτη κόστους και ενός δείκτη οφέλους. Ο δείκτης οφέλους είναι συνάρτηση του βαθμού έκθεσης μιας περιοχής επί των κοινωνικών οφελών από την αποκατάστασή της. Ενώ ο δείκτης κόστους είναι συνάρτηση της απαιτούμενης οικονομικής επένδυσης της τεχνικής αποκατάστασης μιας περιοχής διά της αποτελεσματικότητάς της και επί του κοινωνικού κόστους από την εφαρμογή της. Έτσι η αναλογία κόστους/οφέλους είναι το κριτήριο για την προτεραιότητα αποκατάστασης μιας περιοχής, όσο μικρότερη τόσο μεγαλύτερη η προτεραιότητα.

Οι τεχνικές/μέθοδοι αποκατάστασης των μολυσμένων περιοχών που λήφθηκαν υπόψη για το Λαύριο και για τον υπολογισμό του κόστους ήταν, σύμφωνα με τον Demetriades (2010), οι παρακάτω:

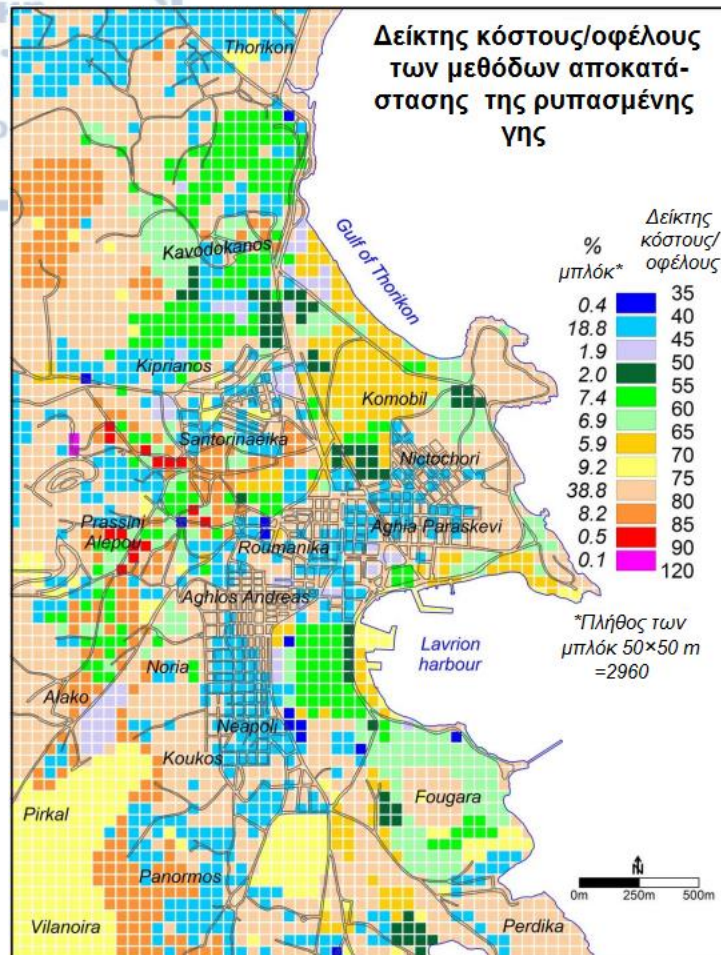
- Επίστρωση με ασφαλτο
- Πλακόστρωση
- Κάλυψη με υγιές έδαφος (60 εκατοστά) και βλάστηση
- Κάλυμμα γεωμεμβράνης με βλάστηση στο ανώτερο στρώμα

- Κάλυμμα συμπιεσμένης αργίλου με βλάστηση στο ανώτερο στρώμα
- Προσθήκη ασβεστόλιθου και κάλυψη με υγιές έδαφος (30 εκατοστά) και βλάστηση
- Χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη και βλάστηση
- Χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη, φωσφορικά άλατα και βλάστηση
- Χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη, στάχτη και βλάστηση
- Χημική σταθεροποίηση με κομπόστ, στάχτη και βλάστηση
- Χημική σταθεροποίηση με κομπόστ, φωσφορικά άλατα και βλάστηση

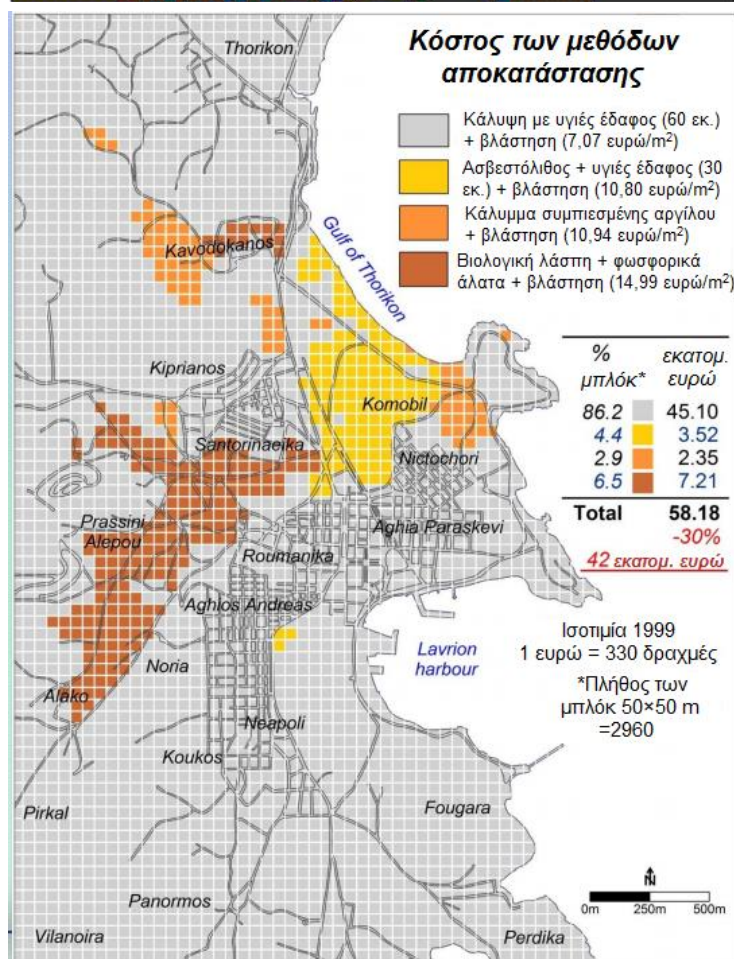
Από αυτές επιλέχθηκαν με βάση την αποτελεσματικότητα και το κόστος τους καθώς και με βάση τα χημικά χαρακτηριστικά και τις χρήσεις γης κάθε περιοχής οι παρακάτω:

- ✓ Η κάλυψη με υγιές έδαφος (60 εκ.) και βλάστηση για τις περιοχές που αποτελούνται από τα διάφορα είδη σκουριών (σκουριές, υλικό αμμοβολής και γαιώδες υλικό) ή από ρυπασμένο έδαφος.
- ✓ Το κάλυμμα συμπιεσμένης αργίλου με βλάστηση στο ανώτερο στρώμα για τις περιοχές που αποτελούνται από απορρίμματα σιδηροπυρίτη.
- ✓ Η προσθήκη ασβεστόλιθου και κάλυψη με υγιές έδαφος (30 εκ.) και βλάστηση για τις περιοχές που αποτελούνται από πυριτικές άμμους.
- ✓ Η χημική σταθεροποίηση με βιολογική λάσπη, φωσφορικά άλατα και βλάστηση για τις περιοχές που αποτελούνται από απορρίμματα επίπλευσης/εμπλουτισμού.

Με βάση αυτές υπολογίστηκε ο δείκτης κόστους αποκατάστασης κάθε περιοχής και σχεδιάστηκε έτσι ένας χάρτης κατανομής της αναλογίας κόστους/οφέλους, δηλαδή προτεραιότητας για περιβαλλοντική δράση (Σχ. 29). Στον χάρτη του σχήματος 30 φαίνεται ποια μέθοδος αποκατάστασης συνίσταται να εφαρμοστεί σε κάθε τετράγωνο (μπλοκ) $50 \times 50\text{m}$ (2.500 m^2) καθώς και το οικονομικό κόστος σε ευρώ ανά μέτρο, με βάση τις τιμές των υλικών που ίσχυαν το 1999 (1 ευρώ ισοδυναμούσε με 330 δραχμές). Υπολογίστηκε επίσης το συνολικό οικονομικό κόστος το οποίο ανερχόταν συνολικά στα 42 εκατομμύρια ευρώ (για την ακρίβεια 58.18 εκ. ευρώ αλλά λόγω του ότι το ~30% της περιοχής καλύπτεται από κτίρια ή ασφαλτοδρόμους το κόστος μειώνεται) (Demetriades 2010).



Σχ.29. Γεωγραφική κατανομή του δείκτη κόστους/ οφέλους (Nikolaidis et al. 1999, Demetriades 2010)



Σχ. 30. Χάρτης γεωγραφικής κατανομής του κόστους αποκατάστασης ανά μπλοκ (50×50m) της πιο κατάλληλης για κάθε περιοχή μεθόδου με βάση τις τιμές που ίσχυαν το 1999 (Nikolaidis et al. 1999).

5. Συμπεράσματα

Από τα δεδομένα και τις πληροφορίες που εκτέθηκαν στην εργασία γίνεται σαφές ότι η όλη η Λαυρεωτική χερσόνησος είναι εξαιρετικά ρυπασμένη και περιβαλλοντικά υποβαθμισμένη. Το επιφανειακό εδαφικό κάλυμμα έχει ρυπανθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από τοξικά βαρέα μέταλλα (Pb, As, Zn, Cd, Sb, Cu, Ni, Cr), οι συγκεντρώσεις των οποίων ξεπερνούν τα αποδεκτά όρια για οικιστικές περιοχές καθώς και τα φυτοτοξικά όρια που προβλέπονται από την Ελληνική Νομοθεσία. Αυτό ευθύνεται στο γεγονός ότι λόγω του πλούσιου σε μεταλλεύματα υποβάθρου της περιοχής γίνεται εκμετάλλευση και εξόρυξη (αργύρου και μολύβδου κυρίως) από αρχαιοτάτων χρόνων (3.000⁺ π.Χ.).

Βέβαια αν και οι μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες είχαν ξεκινήσει από την αρχαιότητα, η ρύπανση οφείλεται κυρίως στις έντονες μεταλλουργικές εργασίες της περιόδου 1865-1989 που έλαβαν χώρα στην πόλη του Λαυρίου. Εκεί εντοπίζεται σήμερα και το μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς αυτές άφησαν πίσω τους τεράστιες ποσότητες μεταλλουργικών αποβλήτων στην αστική περιοχή του Λαυρίου. Αυτά τα απόβλητα έχουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων και με την περεταίρω εξάπλωσή τους από φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες αποτέλεσαν πηγή ρύπανσης του εδαφικού καλύμματος στην περιοχή του Λαυρίου.

Η ρύπανση έχει εξαπλωθεί ακόμη περισσότερο με υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου (Pb) και αρσενικού (As) στην σκόνη των σπιτιών, γεγονός το οποίο είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό. Επίσης έχουν παρατηρηθεί υψηλά ποσοστά μολύβδου στο αίμα των κατοίκων καθώς ακόμη και στα νεογιλά δόντια των παιδιών, όπως και υψηλές τιμές αρσενικού παρατηρούνται στα ούρα των κατοίκων. Αυτά τα δύο στοιχεία αποτελούν τους σημαντικότερους ρύπους καθώς οι συγκεντρώσεις τους στο περιβάλλον είναι πολύ υψηλές (μέχρι 151.000 ppm μολύβδος και 24.000 ppm αρσενικό στο εδαφικό κάλυμμα), η εξάπλωσή τους είναι πολύ μεγάλη, έχουν μεγάλη τοξικότητα και σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία (ανθρώπων, ζώων και φυτών). Επίσης είναι σε βιοδιαθέσιμες φάσεις καθώς ενώ η εκμετάλλευση έχει σταματήσει εδώ και χρόνια οι τιμές τους στο αίμα και τα ούρα των κατοίκων είναι ακόμα μεγάλες και έχουν παρατηρηθεί διάφορα προβλήματα υγείας, κυρίως στα παιδιά (προβλήματα σωματικής και πνευματικής ανάπτυξης).

Η ρύπανση συνεχίζει ακόμα και σήμερα την εξάπλωσή της με σταδιακή προσβολή του υπόγειου υδροφορέα, κυρίως λόγω της όξινης απορροής που προκαλείται από τα απορρίμματα σουλφιδίων (σιδηροπυρίτη κ.ά.). Το φαινόμενο της όξινης απορροής είναι γενικά επικίνδυνο καθώς «ξεπλένει» τα μέταλλα και τοξικά στοιχεία από τα ορυκτά και τα

απελευθερώνει στο περιβάλλον με επιπτώσεις για όλους τους έμβιους οργανισμούς. Ακόμη και ο θαλάσσιος πυθμένας φαίνεται να επηρεάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων να έχουν παρατηρηθεί στα θαλάσσια ιζήματα.

Η ρύπανση του εδάφους στην Λαυρεωτική μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σχεδόν μόνιμη καθώς η διάρκεια παραμονής των βαρέων μετάλλων στα εδάφη είναι πολύ μεγάλη, π.χ. για το αρσενικό είναι 2.000 χρόνια και για τον μόλυβδο 400-3000 χρόνια (Ferguson 1990). Συνεπώς η **περιβαλλοντική αποκατάσταση** του εδάφους της Λαυρεωτικής είναι επείγουσα και απαραίτητη δράση. Παρ' όλα αυτά και παρά το λεπτομερές και οικονομικά αποτελεσματικό σχέδιο περιβαλλοντικής διαχείρισης, με εκτίμηση του κοινωνικού κόστους-οφέλους και του ακριβούς οικονομικού κόστους, που εκπονήθηκε από το Ι.Γ.Μ.Ε. και το Ε.Μ.Π. και κατατέθηκε στις αρμόδιες αρχές δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμη καμία δράση.

Θεωρώ ότι οφείλουμε να μεριμνήσουμε για τις επόμενες γενιές και να εργαστούμε όλοι μαζί για ένα καλύτερο και υγιέστερο περιβάλλον. Οφείλουμε να σεβόμαστε το φυσικό περιβάλλον και να μην του προκαλούμε μη-αναστρέψιμες βλάβες και αλλαγές διότι τελικά οι συνέπειες γυρίζουν σε εμάς. Στο Λαύριο αυτό συμβαίνει ήδη και αν δεν γίνει κάτι για να αλλάξει η κατάσταση θα πρέπει να προβούμε σε ακραίες λύσεις όπως η μετακίνηση και εγκατάσταση του πληθυσμού σε άλλη περιοχή. Αυτό βέβαια δεν θα αποτελούσε λύση για το περιβαλλοντικό πρόβλημα, απλά θα βελτίωνε την ζωή των ανθρώπων ενώ ρύπανση θα συνέχιζε την εξάπλωσή της ανεξέλεγκτα.

Ελπίζω λοιπόν οι αρμόδιες αρχές και η πολιτική εξουσία να πράξει ορθολογικά για την επίλυση του ζητήματος αντί να το αγνοεί όπως έχει κάνει μέχρι στιγμής.

6. Βιβλιογραφία

Δερμάτης Γ.Ν. (1994). Τοπίο και μνημεία της Λαυρεωτικής. Δήμος Λαυρεωτικής, Λαύριο, 298 σελ.

Δημητριάδης Α., Βέργου Κ., Βλαχογιάννης Ν. (2001). Η ρύπανση της Λαυρεωτικής χερσονήσου και του αστικού περιβάλλοντος του Λαυρίου από τα μεταλλευτικά-μεταλλουργικά απορρίμματα και οι επιπτώσεις στην υγεία του τοπικού πληθυσμού. Πρακτικά της Θ' Επιστημονικής Συνάντησης Νοτιοανατολικής Αττικής, Λαύριον. Εταιρεία Μελετών Λαυρεωτικής, Καλύβια Θορικού Αττικής.

Δημητριάδης Α., Βέργου Κ., Βλαχογιάννης Ν. (2008). Η ρύπανση της Λαυρεωτικής χερσονήσου και του αστικού περιβάλλοντος του Λαυρίου από τα μεταλλευτικά-μεταλλουργικά απορρίμματα και οι επιπτώσεις στην υγεία του τοπικού πληθυσμού. Πρακτικά της 9^{ης} Επιστημονικής Συνάντησης Νοτιοανατολικής Αττικής, Λαύριον. Εταιρεία Μελετών Λαυρεωτικής, Καλύβια Θορικού Αττικής.

Δημητριάδης Α., Βέργου Κ., Τσόμπος Π., Στεφούλη Μ. (2004). Η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της ρύπανσης της Λαυρεωτικής Χερσονήσου στο σχεδιασμό χρήσεων γης. «Πρακτικά ,της Ι' Επιστημονικής Συνάντησης ΝΑ Αττικής» Καλύβια Θορικού (28 Νοεμβρίου - 1 Δεκεμβρίου 2002). Εταιρεία Μελετών Νοτιοανατολικής Αττικής, Καλύβια Θορικού Αττικής, σελ. 149-177.

Δημητριάδης Α., Σταυράκη Π., Βέργου-Βήχου Κ. (1994α). Χάρτες Περιβαλλοντικής Γεωχημικής Μελέτης Χερσονήσου Λαυρεωτικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 2. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 44 σελ.

Δημητριάδης Α., Σταυράκη Π., Βέργου-Βήχου Κ. (1994β). Περιβαλλοντική Εδαφογεωχημική Έρευνα στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 3. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 147 σελ.

Δημητριάδης Α., Βέργου-Βήχου Κ., Σταυράκη Π. (1994γ). Προσανατολιστική Εδαφογεωχημική Έρευνα στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 6. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 64 σελ.

Δρόσος Χ., Παπαδοπούλου-Νταφιώτη Ζ., Μαυροειδής Κ., Μιχαλοδημητράκης Δ., Σαλαμαλίκης Λ., Γούναρης Α., Βαρόνος Δ. (1982). Η ρύπανση του περιβάλλοντος με μόλυβδο στον Ελληνικό χώρο. Παιδιατρική, 45: 114-124.

- Εφημερίδα Ελευθεροτυπία (2009). Φύλλο της Τρίτης 2 Ιουνίου 2009, σελ. 22. (Πηγή)
- Εφημερίδα Ελευθεροτυπία (2011). Φύλλο της Τρίτης 10 Μαΐου 2011, σελ. 40 (Πηγή)
- Ελληνική Ιζηματολογική Εταιρία (2006). Ενημερωτικό Δελτίο «Ηιών», 03/2006, Τεύχος 3, Άρθρο 00014, Η σχέση μεταξύ της γεωχημείας των ιζημάτων του θαλάσσιου πυθμένα ανατολικά της Λαυρεωτικής χερσονήσου και των μεταλλευτικών και μεταλλουργικών δραστηριοτήτων της Λαυρεωτικής.
- Κονοφάγος, Κ.Η. (1980). Το Αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική Τεχνική Παραγωγής του Αργύρου. Εκδοτική Ελλάδος Α.Ε., Αθήνα, 459 σελ.
- Μάνθος Γ.Κ. (1990). Μεταλλευτικό μεταλλουργικό Λαύριο. Δήμος Λαυρεωτικής, Λαύριο, 168 σελ.
- Νάκου Σ.(1985). Επίπεδα μολύβδου αίματος και νεφρική λειτουργία παιδιών μιας περιοχής με αυξημένο περιβαλλοντικό μόλυβδο. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 97 σελ.
- Σταυράκη Π., Δημητριάδης Α., Βέργου-Βήχου Κ. (1994). Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων στη Λαυρεωτική Χερσόνησο Αττικής. Στην: Περιβαλλοντική Γεωχημική Μελέτη Λαυρεωτικής Χερσονήσου Αττικής, Τόμος 1. Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε. Ε7424, Αθήνα, 44 σελ.
- Τεχνολογία (2001). Ενημερωτικό δελτίο πολιτιστικού τεχνολογικού ιδρύματος ελληνικής τράπεζας βιομηχανικής αναπτύξεως. Τεύχος 10-11, σελ. 49-52
- Φιλιππίδης Α. (2006). Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Τμήμα Εκδόσεων, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Χατζηγεωργίου-Σταυράκη Π. Κ. (1998). Επιπτώσεις της ρύπανσης από βαρέα μέταλλα σε περιοχές μεταλλευτικής δραστηριότητας στην υγεία του πληθυσμού. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- Χρονοπούλου-Σερέλη Κ., Χρονόπουλος Ι., Καναβού Α. (2001). Ενδημικά φυτά – Υπερσυσσωρευτές μολύβδου στη Λαυρεωτική.
- Ζαΐμης Σ. Ν. (2010). Ορυκτολογική μελέτη των ορυκτών του Λαυρίου από τη συλλογή του Μουσείου Ορυκτολογίας – Πετρολογίας. Διπλωματική Εργασία, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Altherr R., Kreuzer H., Wendt I., Lenz H., Wagner G. A., Keller J., Harre W., Höndorf A. (1982). A late Oligocene/early Miocene high temperature belt in the Attic-Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). *Geologisches Jahrbuch*, 23, 97-164
- Baltatzis E. (1981). Contact metamorphism of a calcilicite hornfels from Plaka area, Lavrion, Greece. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 1981, 481-488

- Benetou-Marantidou A., Nalou S., Micheloyiannis I. (1985). The use of a battery of tests for the estimation of neurological effects of lead in children. In: T.D. Lekkas (Editor), International Conference Heavy Metals in the Environment, New Orleans, September, Vol. 1, CEP Consultants, Edinburgh, pp. 204-209.
- Bonsall T.A., Spry P.G., Voudouris P., Tombros S., Seymour K., Melfos V. (2011). The Geochemistry of Carbonate-Replacement Pb-Zn-Ag Mineralization in the Lavrion District, Attica, Greece: Fluid Inclusion, Stable Isotope, and Rare Earth Element Studies. *Economic Geology*, 106, 619-651
- Bröcker M., Keasling A. (2006). Ion probe U-Pb zircon ages from the pressure/low-temperature mélange of Syros, Greece: age diversity and the importance of pre-Eocene subduction. *Journal of Metamorphic Geology*, 24, 615-631
- Bröcker M., Pidgeon R.T. (2007). Protolith ages of meta-igneous and metatuffaceous rocks from the Cycladic Blueschist Unit, Greece: results of a reconnaissance U-Pb zircon study. *Journal of Metamorphic Geology* 115, 83-98
- Chronopoulos J., Chronopoulou-Sereli C. (1986a). Schwermetalltoleranz von *Crocus sieberi*, *Arisarum vulgare* und *Cyclamen graecum* in Lavrion (Attika). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* (Hohenheim 1984), XIV: 357-360 (text in German with a synopsis in English).
- Chronopoulos J., Chronopoulou-Sereli C. (1986b). Vegetational development of halophytes to heavy metals in industrial regions in Lavrion (Attika). *Landschaft u. Stadt*, 18 (1): 42-45 (text in German with a summary in English).
- Chronopoulos J., Chronopoulou-Sereli C. (1991). Effects of the mining-metallurgical activity on the natural vegetation of Lavreotiki. In: Abstracts of 1st Scientific Conference on Geosciences and the Environment. University of Patras, Dept. of Geology, Patras: 147.
- Chronopoulou-Sereli C., Chronopoulos J. (1991a). Untersuchungen über die Pb-belastung der vegetation in Lavreotiki (Attika). In: S. Riewenherm und H. Lieth (Editors), *Verhandlungen der gesellschaft für Ökologie* (Osnabrück 1989): XIX/III: 223-228 (text in German with a summary in English).
- Chronopoulou-Sereli C., Chronopoulos J. (1991b). Umweltbelastung der Stadt Lavrion (Attika) und Umgebung durch ein Bleihüttenwerk. *Natur und Landschaft*, 66 (9): 442-443 (text in German with a summary in English).
- Demetriades A. (2010). *Medical Geology in Hellas: The Lavrion Environmental Pollution Study*. Springer Science+Business Media

Demetriades A., Li X., Ramsey M. H., Thornton I. (2010). Chemical speciation and bioaccessibility of lead in surface soil and house dust, Lavrion urban area, Attiki, Hellas. Springer Science+Business Media

Demetriades A., Vergou-Vichou K., (1999a). Geochemistry of parent rocks. Στην: Δημητριάδης Α. (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 92-100

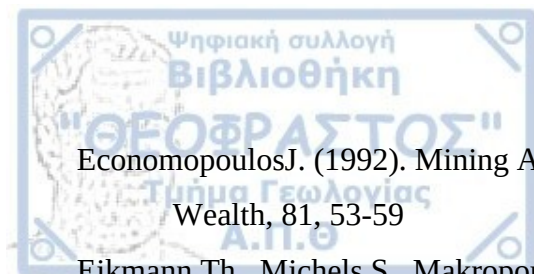
Demetriades A., Vergou-Vichou K. (1999b). Chemistry of metallurgical processing wastes. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 101-128.

Demetriades A., Vergou-Vichou K. (1999c). Geochemistry of ground-water: a preliminary assessment. Στην: Αλ. Δημητριάδης (Συντάκτης), Γεωχημικός Άτλας της Αστικής Περιοχής του Λαυρίου για Περιβαλλοντική Προστασία και Σχεδιασμό. Αποκατάσταση Εδάφους στο Δήμο Λαυρίου, Τόμος 1, Ερμηνευτικό Κείμενο: 304-310.

Demetriades A., Vergou-Vichou K., Stavrakis P. (1999a). Geochemistry of overburden. In A. Demetriades (ed) Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning. Project "Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion", EU LIFE programme Contract No.: 93/GR/A14/GR/4576. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athena, Hellas, Open file report E-8272, Volume 2 – Geochemical atlas, Chapter 6, 6.1–6.30.

Demetriades A., Vergou-Vichou K., Stavrakis P. (1999b). Location map, mining & regional geochemical maps of Lavreotiki peninsula and composite geochemical maps of Lavrion urban area. In A. Demetriades (ed) Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning. Project "Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion", EU LIFE programme Contract No.: 93/GR/A14/GR/4576. Institute of Geology and Mineral Exploration, Athena, Hellas, Open file report E-8272, Volume 2 – Geochemical atlas, Chapter 1, 1.1–1.6.

Demetriades A., Vergou-Vichou K., & Vlachoyiannis N. (1999c). Distribution of lead in the Lavrion urban environment. In A. Demetriades (Ed.), Geochemical atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning. Project "Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion", EU LIFE programme Contract No., 93/GR/ A14/GR/4576 (pp. 63–91). Institute of geology and mineral exploration, Athens, Hellas, Open file report E-8272, Vol. 1—Explanatory text, Chapter 3.



Economopoulos J. (1992). Mining Activities in contemporary and ancient Greece. Mineral Wealth, 81, 53-59

Eikmann Th., Michels S., Makropoulos V., Krieger Th., Einbrodt H.J., Tsomi K. (1991). Cross-sectional epidemiological study on arsenic excretion in urine of children and workers in Greece. Gordon and Breach Science Publ., Toxicological and Environmental Chemistry, Vols, 31-32: 461-466.

Ferguson J.E. (1990). The heavy elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects (614 pp.). Oxford: Pergamon Press.

Flett D.S., Riddler G.P. (1992). Implications of current and future regulations in the EC and North America for the utilisation or disposal of metallurgical slags. In: IMM, Minerals, metals and the environment. Elsevier Applied Science, London: 43-53.

Gelaude P., Kalmthout P.V., Rewitzer C. (1996). Laurion. The minerals in the ancient slags. Janssen Print, Nijmegen, The Netherlands, 195pp.

Grasemann B., Schneider D.A., Stöckli D.F., Igsleder C. (2012). Miocene bivergent crustal extension in the Aegean: Evidence from the western Cyclades (Greece). Lithosphere, 4, 23-39

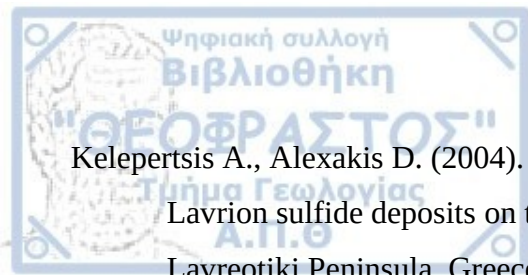
Hatzakis A., Kokkevi A., Katsouyanni K., Maravelias C., Salaminios F., Kalandidi A., Koutselinis A., Stefanis K., Trichopoulos D. (1987). Psychometric intelligence and attentional performance deficits in lead-exposed children. In: S.E. Lindberg and T.C. Hutchinson (Editors), International Conference Heavy Metals in the Environment, New Orleans, September. CEP Consultants, Edinburgh, Vol. 1: 204-209.

ICRCL (1987). Guidance on the assessment and redevelopment of contaminated land. Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land, Guidance Note 59/83 (2nd Edition), Department of the Environment, London, U.K..

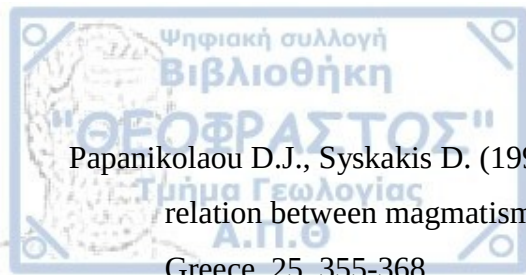
Kabata-Pendias A., Pendias H. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 315 pp.

Kafourou A., Touloumi G., Makropoulos V., Loutradi A., Papanagiotou A., Hatzakis A. (1997). Effects of lead on the somatic growth of children. Archives of Environmental Health, 52 (5): 377-383.

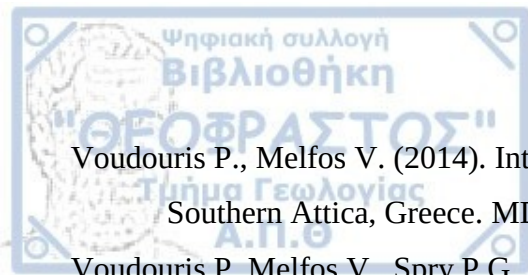
Katzir Y., Garfunkel Z., Avigad D., Matthews A. (2007). The geodynamic evolution of the Apline orogen in the Cyclades (Aegean Sea, Greece): insights from diverse origins and modes of emplacement of ultramafic rocks. Geological Society, London, Special Publications, 291, 17-40



- Kelepertsis A., Alexakis D. (2004). The impact of mining and metallurgical activity of the Lavrion sulfide deposits on the geochemistry of bottom sea sediments East of the Lavreotiki Peninsula, Greece. *Res. J. Chem. Environ.* Vol. 8 (1) March 2004
- Levinson A.A. (1974). *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, 614 pp.
- Makropoulos V., Konteye C., Eikmann Th., Einbrodt H.J., Hatzakis A., Papanagiotou G. (1991). Cross-sectional epidemiological study on the lead burden of children and workers in Greece. *Gordon and Breach Science Publ., U.K., Toxicological and Environmental Chemistry*, 31-32: 467-477.
- Makropoulos W., Stilianakis N., Eikmann Th., Einbrodt H.J., Hatzakis A. and Nikolau-Papanagiotou A., (1992a). Cross-sectional epidemiological study of the effect of various pollutants on the health of children in Greece. *Fresenius Envir. Bull* 1: 117-122.
- Makropoulos W., Jakobi K., Stilianakis N., Vlachogiannis N., Pesch T. and Tambakis S., (1992b). Blood and cadmium burden in pregnant women, newborns and schoolage children in Lavrion (Greece). *Wissenschaft und Umwelt* 3: 221-224 (in German with an abstract in English).
- Maravelias C., Hatzakis A., Katsouyanni K., Trichopoulos D., Koutselinis A., Ewers U., Brockhaus A. (1989). Exposure to lead and cadmium of children living near a lead smelter at Lavrion, Greece. *The Science of the Total Environment*, 84: 61-70.
- Marinos G., Makris J. (1975). Geological and geophysical considerations of new mining operations in Laurium, Greece. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, 27, 1-10
- Marinos G., Petrascheck W.E. (1956), Lavrion: geological and geophysical research. *Institute for Geology and Subsurface Research*, 4, 246
- Marinos G.P. (1971). On the radio-dating of Greek rocks. *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, 23, 175-182
- Nikolaidis N., Demetriades A., Vergou-Vichou K., Vassiliades E., Papassiopi N., Theodoratos P., Varelidis N., Zamani A. (1999) Environmental management and planning. In A. Demetriades (ed) *Environmental management plan for the rehabilitation of soil in the Lavrion urban area*. Project "Soil rehabilitation in the Municipality of Lavrion", EU LIFE programme Contract No.: 93/GR/A14/GR/4576. *Institute of Geology and Mineral Exploration, Athena, Hellas*, Open file report E-8272, Volume 2 – Geochemical Atlas, 12.1–12.6.



- Papanikolaou D.J., Syskakis D. (1991). Geometry of acid intrusives in Plaka, Laurium and relation between magmatism and deformation. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 25, 355-368.
- Photiades A., Saccani E. (2006). Geochemistry and tectono-magmatic significance of HP/LT metaophiolites of the Attic-Cycladic zone in the Lavrion area (Attica, Greece). *Ofioliti*, 31, 89-102
- Reimann C., Äyräs M., Chekushin V., Bogatyrev I., Boyd R., Caritat P. de, Dutter R., Finne T.E., Halleraker J.H., Jæger Ø., Kashulina G., Lehto O., Niskavaara H., Pavlov V., Räisänen M.L., Strand T., Volden T. (1998). *Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region*. Geological Survey of Norway, Trondheim, 745 pp.
- Ring U., Layer P.W., Reischmann T. (2001). Miocene high pressure metamorphism in the Cyclades and Crete, Aegean Sea, Greece: Evidence for large magnitude displacement of the Cretan detachment. *Geology*, 29, 395-398
- Rose A.W., Hawkes H.E., Webb J.S. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, London, 657 pp.
- Skarpelis N., Tsikouras B., Pe-Piper G. (2008). The Miocene igneous rocks in the Basal unit of Lavrion (SE Attica, Greece): Petrology and geodynamic implications: *Geological Magazine*, 145, 1-15.
- Stamatis G., Voudouris K., Karefilakis F. (2001). Groundwater pollution by heavy minerals in historical mining area of Lavrio, Attica, Greece. *Water, Air and Soil Pollution Journal*, Khwer Academic Publishers, Netherlands. 128, 61-83
- Stavrakis P., Vergou-Vichou K., Fosse G., Makropoulos V., Demetriades A., Vlachoyiannis N. (1994). A multidisciplinary study on the effects of environmental contamination on the human population of the Lavrion urban area, Hellas. In: S.P. Varnavas (Editor), *Environmental Contamination. 6th International Conference, Delphi, Greece, CEP Consultants, Edinburgh*: 20-22.
- Tristan E., Demetriades A., Ramsey M.H., Rosenbaum M.S., Stavrakis P., Thornton I., Vassiliades E., Vergou-Vichou K. (2000). Spatially resolved hazard and exposure assessments: An example of lead in soil at Lavrion, Greece. *Environ Res Section A*, 82:33-45.
- Tsokas G.N., Stampolidis A., Angelopoulos A.D., Kiliass S. (1998). Analysis of potential field anomalies in Lavrion mining area, Greece. *Geophysics*, 63, 1965-1970
- Vassilopoulos A., Evelpidou N., Rizakis A., Gavaisse H. (2000). *A geoarcgeological approach of Lavrion mining zone (South Attica)*. University of Athens.



Voudouris P., Melfos V. (2014). Intrusion Related Polymetallic Ore System of Lavrion, Southern Attica, Greece. MDRU Western Tethyan Metallogeny Project.

Voudouris P. Melfos V., Spry P.G., Bonsall T., Tarkian M., Economou-Eliopoulos M. (2008a). Mineralogical and fluid inclusion constraints on the evolution of the Plaka intrusion-related ore system, Lavrion, Greece. *Mineralogy and Petrology*, 93, 79-110

Voudouris P., Melfos V., Spry P.G., Bonsall T., Tarkian M., Solomos Ch. (2008b). Carbonate-replacement Pb-Zn-Ag±Au mineralization in the Kamariza area, Lavrion, Greece: Mineralogy and thermochemical conditions of formation. *Mineralogy and Petrology*, 94, 85-106