



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

Τμήμα Μηχανικών  
Περιβάλλοντος,  
Πολυτεχνική Σχολή

# ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

## Ανόργανα Μέταλλα στο Περιβάλλον

Αγγελική Απ. Γαλάνη

Χημικός PhD

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (ΕΔΙΠ)

# Βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων

- Τα μέταλλα είναι στοιχεία, επομένως δεν υπάρχει η δυνατότητα διάσπασης τους σε λιγότερο τοξικές μορφές.
- Μένουν για πολλά χρόνια στο περιβάλλον και βιομεγεθύνονται από τους υδάτινους οργανισμούς.
- Τα τοξικά μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν εγκεφαλική βλάβη, ανωμαλίες σε νεφρούς και ήπαρ και βλάβη στα οστά.

**Δύο είναι οι κύριες πηγές από τις οποίες εισέρχονται τα τοξικά μέταλλα στα κανάλια του νερού:**

- απόβλητα βιομηχανιών,
- αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, τα οποία επικάθονται και μεταφέρονται στις απορροές.

## Το μέγεθος της βιοσυσσώρευσης των βαρέων μετάλλων εξαρτάται:

- από τον ρυθμό κατάποσης των μετάλλων =  $R$ ,
- από τους μηχανισμούς μείωσης του ρυθμού κατάποσης.
- Αυτό που συνήθως ισχύει είναι ότι:  
    ρυθμός μείωσης =  $KC$   
    όπου  $C$  η συγκέντρωση

## Τελικά στον οργανισμό ισχύει:

Ρυθμός κατάποσης = Ρυθμό μείωσης

$$KC = R$$

$$C = mg /L$$

$$R = mg/d \text{ (χιλιοστόγραμμα/μέρα)}$$

Για τη σταθερή κατάσταση συσσώρευσης  $C_s$  θα ισχύει

$$C_s = R/K$$

Αν  $t_{1/2}$  είναι ο χρόνος ημιζωής του μετάλλου, τότε σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της κινητικής, θα ισχύει:  $K = 0,693/t_{1/2}$

$$C_s = (R)(t_{1/2}) / 0,693$$

Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ημιζωής ενός χημικού στοιχείου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η σταθερή κατάσταση συσσώρευσης αυτού.

## Μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα μετάλλων στο πόσιμο νερό

Μέταλλο	Μέγιστο επίπεδο (ppb)
Αντιμόνιο	6
Αρσενικό	10
Βάριο	2000
Βηρύλλιο	4
Κάδμιο	5
Χρώμιο (ολικό)	100
Χαλκός	1300
Μόλυβδος	15
Υδράργυρος (ανόργανος)	2
Σελήνιο	50
Θάλιο	2

Δεδομένα από: EPA, Drinking Water Contaminants «Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας», James E. Girard, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Μόσχος Πολυσίου, Πέτρος Ταραντίλης, Χρήστος Παππάς, Μετάφραση Αικατερίνη Βενετσάνου, Χριστίνα Μήτση, Επιστημονικές Εκδόσεις ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ Α.Ε., 2018.

# Η τοξικότητα των βαρέων μετάλλων εξαρτάται από:

- Το είδος του μετάλλου,
- τη συνολική απορροφημένη δόση,
- το αν η έκθεση είναι οξεία ή χρόνια,
- την ηλικία του ατόμου.

Για παράδειγμα τα μικρά παιδιά, είναι πιο επιρρεπή στις επιπτώσεις της έκθεσης σε μόλυβδο, επειδή απορροφούν αρκετές φορές περισσότερο ποσοστό σε σύγκριση με τους ενήλικες. Επιπρόσθετα οι εγκεφαλοι τους είναι πιο πλαστικοί, άρα ακόμη και σύντομη έκθεση ενδέχεται να επηρεάσει τις αναπτυξιακές διαδικασίες.

## Τα τοξικά βαρέα μέταλλα:

- προκαλούν μόνιμη ή αναστρέψιμη βλάβη σε διάφορα όργανα του σώματος,
- επηρεάζουν την λειτουργία των κυττάρων και των κυτταρικών οργανιδίων,
- προκαλούν αλλαγές στην αλληλουχία βάσεων του DNA,
- προκαλούν επιγενετικές διεργασίες. (Οποιαδήποτε διαδικασία που αλλάζει τη γονιδιακή δραστηριότητα χωρίς αλλαγή της αλληλουχίας βάσεων του DNA.)

Μεθυλίωση DNA.

Τροποποίηση της χρωματίνης, (σύμπλεγμα DNA και πρωτεϊνών ιστονών).

Επιγενετική ρύθμιση μέσω παρεμβολής μορίων RNA: μικρο-RNA<sub>s</sub> (miRNA<sub>s</sub>).

**Τοξικοκινητική, είναι η μελέτη της εισόδου μιας τοξικής ουσίας στο σώμα, καθώς και της πορείας της μέσα σε αυτό.**

Η τοξικοκινητική εξετάζει τέσσερις βασικές διεργασίες

### **Απορρόφηση**

- Η ουσία εισέρχεται στον οργανισμό.

### **Κατανομή**

- Μετακίνηση μιας ουσίας από το σημείο εισόδου της, σε άλλες περιοχές του σώματος

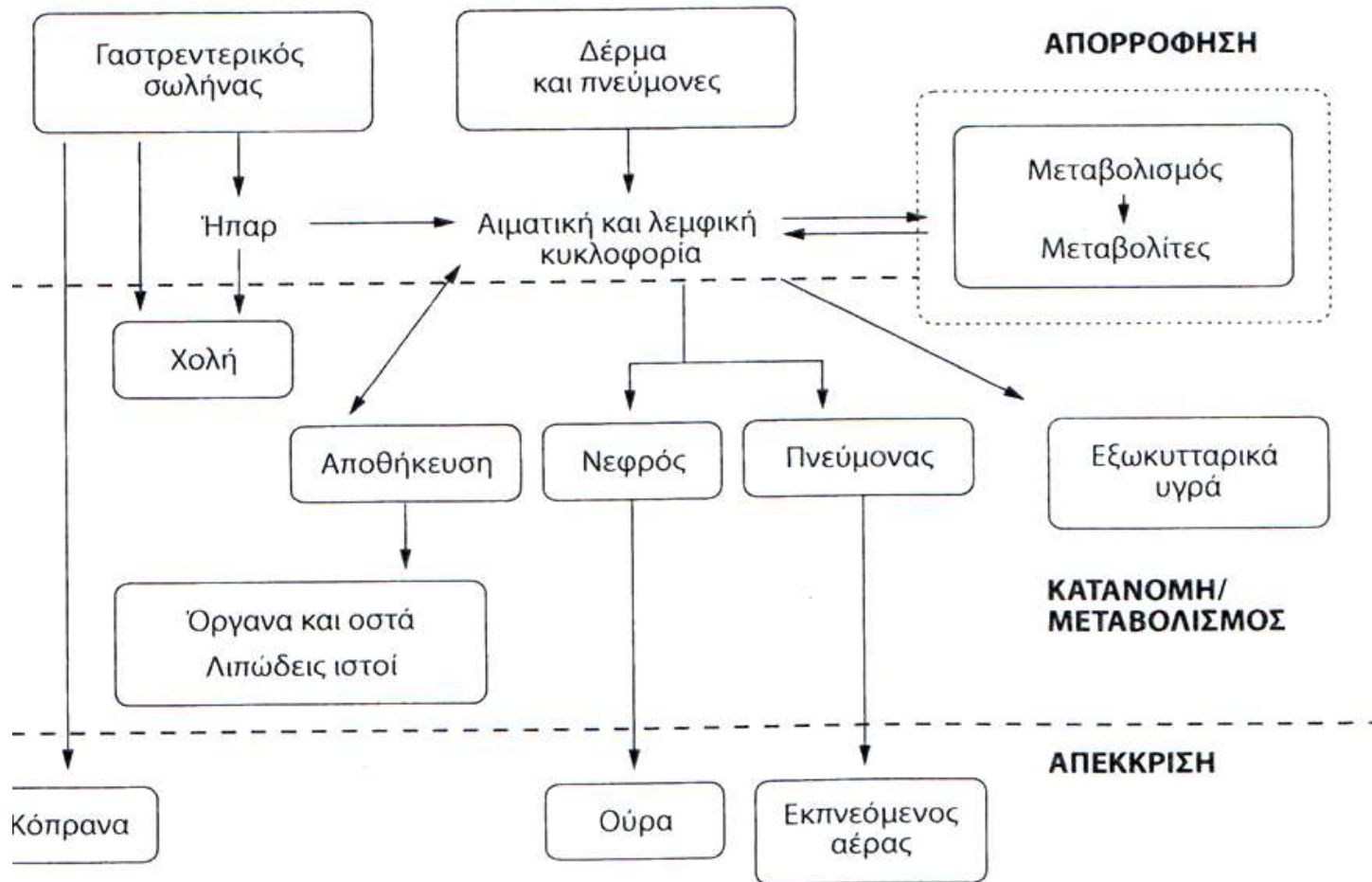
### **Βιομετασχηματισμός**

- Η ουσία μετασχηματίζεται από τον οργανισμό σε νέες χημικές ουσίες.

### **Απέκκριση**

- Η ουσία ή οι μεταβολίτες της απομακρύνονται από τον οργανισμό.





Τοξικοκινητική. (Προσαρμογή από την Εθνική Βιβλιοθήκη Ιατρικής των Ηνωμένων Πολιτειών.)

«Περιβαλλοντική Χημεία», IBÁÑEZ JORGE G.HERNÁNDEZ-ESPARZA MARGARITADORIA-SERRANO CARMENFREGOSO-INFANTE ARTUROMOHAN SINGH MONO, Μετάφραση: Νικολαΐδου Βασιλική, Πρεβεδώρος Θεόδωρος, Βακάκη Βασιλική, 2016, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας

# Τα πιο τοξικά βαρέα μέταλλα

**Cr**



**As**



**Pb**



**Cd**



**Hg**

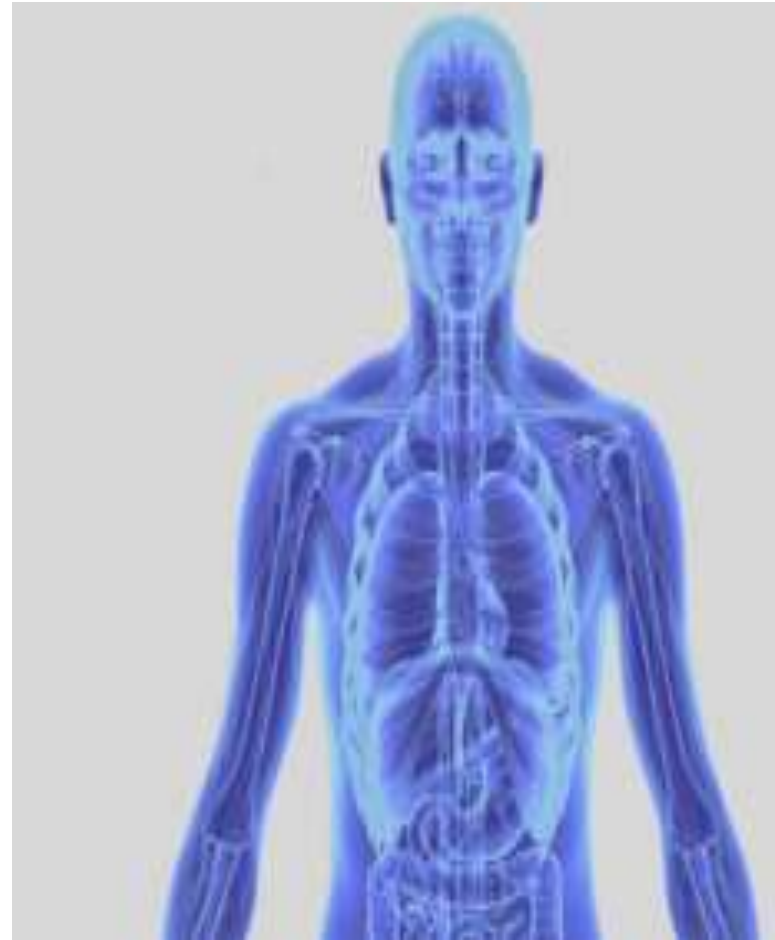


# Αρσενικό

- Οι κύριες ανόργανες μορφές αρσενικού περιλαμβάνουν τον τρισθενή αρσενικό και τον πεντασθενή αρσενικό.
- Οι οργανικές μορφές είναι οι μεθυλιωμένες.
- Η περιβαλλοντική ρύπανση από το αρσενικό, συμβαίνει ως αποτέλεσμα:
  - φυσικών φαινομένων όπως ηφαιστειακές εκρήξεις και διάβρωση του εδάφους,
  - ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

## Το αρσενικό επηρεάζει ένα ευρύ φάσμα οργάνων και συστημάτων συμπεριλαμβανομένων του:

- δέρματος,
- νευρικού συστήματος,
- αναπνευστικού συστήματος,
- καρδιαγγειακού συστήματος,
- ήπατος, νεφρών, ουροδόχου κύστεως και προστάτη,
- ανοσοποιητικού συστήματος,
- ενδοκρινικού συστήματος.
- Τέλος επηρεάζει και την αναπτυξιακή διαδικασία.



<https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/arsenic/index.cfm>

Οι μεγαλύτερες ποσότητες αρσενικού εισέρχονται στον οργανισμό μέσω:



• νερού



• τροφίμων

Το αρσενικό στο πόσιμο νερό αποτελεί πρόβλημα σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο, όπως το Μπαγκλαντές, η Χιλή, η Κίνα, το Βιετνάμ, η Ταϊβάν, η Ινδία και οι Η.Π.Α <sup>1</sup>

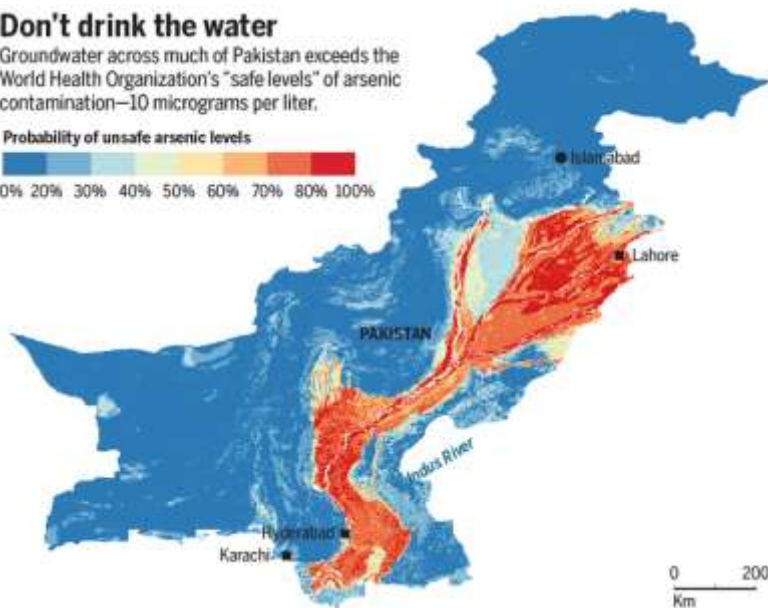
Ποσότητες αρσενικού είναι δυνατόν να εισέλθουν στον οργανισμό και με την εισπνοή σκόνης, ή και μέσω του δέρματος, αν και η τελευταία περίπτωση, δεν αποτελεί σημαντική οδό έκθεσης.

Το αρσενικό στο πόσιμο νερό, απειλεί μέχρι και 60 εκατομμύρια στο Πακιστάν.

### Don't drink the water

Groundwater across much of Pakistan exceeds the World Health Organization's "safe levels" of arsenic contamination—10 micrograms per liter.

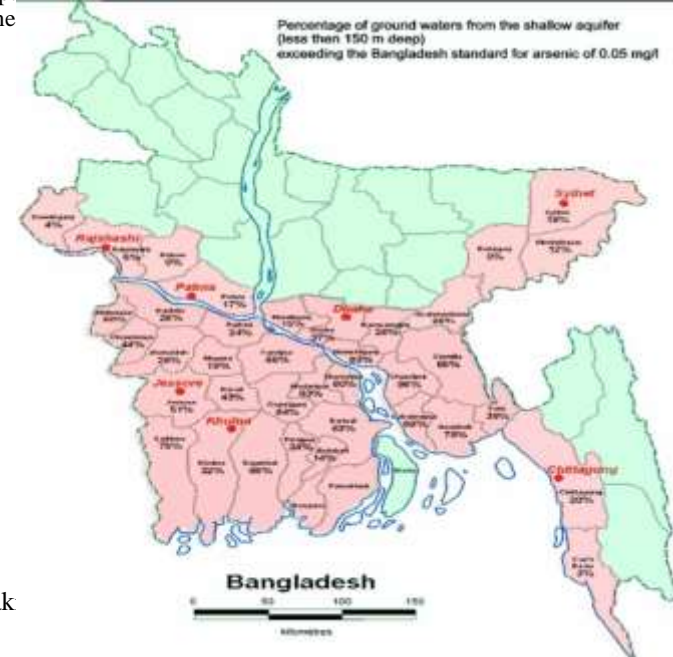
Probability of unsafe arsenic levels



<http://www.sciencemag.org/news/2017/08/arsenic-drinking-water-threatens-60-million-pak>

«Το Μπαγκλαντές είναι δυστυχώς ένα ζωντανό εργαστήριο για τις επιπτώσεις του αρσενικού στην υγεία». Οι γεωλογικές έρευνες στο Μπαγκλαντές, αποκάλυψαν σοβαρή μόλυνση στον υδροφόρο από αρσενικό.

- <http://www.newsinferno.com/arsenic-in-drinking-water-tied-to-illne>



## Απο που προέρχεται το αρσενικό στο πόσιμο νερό



World Health Organization  
(WHO)

Η κύρια πηγή αρσενικού στο πόσιμο νερό είναι οι πλούσιοι σε αρσενικό βράχοι μέσω των οποίων φιλτράρεται το νερό. Μπορεί επίσης να προκύψει εξαιτίας της εξόρυξης ή της βιομηχανικής δραστηριότητας σε ορισμένες περιοχές

<https://esircworldwide.com/environmental-issues/water-contamination/arsenic-defined>



# Arsenic levels in common foods

Arsenic intake occurs through food and drinking water with recent concerns focused on high levels in rice. Elevated levels of arsenic can cause lung, bladder and skin cancers, cardiovascular disease and hypertension and could cause neurological deficits and diabetes.

## RECOMMENDED MAXIMUM ARSENIC INTAKE

220-lb. person

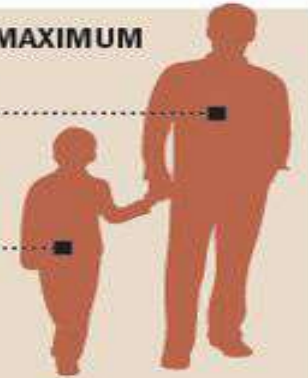
**30  $\mu\text{g}$**

50-lb. child

**14  $\mu\text{g}$**



Health threat = **50+  $\mu\text{g}$**



### RICE, RICE PRODUCTS

3.5-6.7  $\mu\text{g}$   
per cup



### MEAT\*

#### Beef

0.1  $\mu\text{g}$  per half pound



### COOKED SPINACH

1.1  $\mu\text{g}$   
per cup



#### Chicken

0.2  $\mu\text{g}$  per half pound



### GRAPE JUICE

2.3  $\mu\text{g}$   
per cup



#### Shrimp

0.4  $\mu\text{g}$  per half pound



### \*FISH

Fish has high amounts of organic arsenic that are not as risky to human health as inorganic arsenic.



## Arsenic in water

### WELL, SPRING, NATURAL WATER

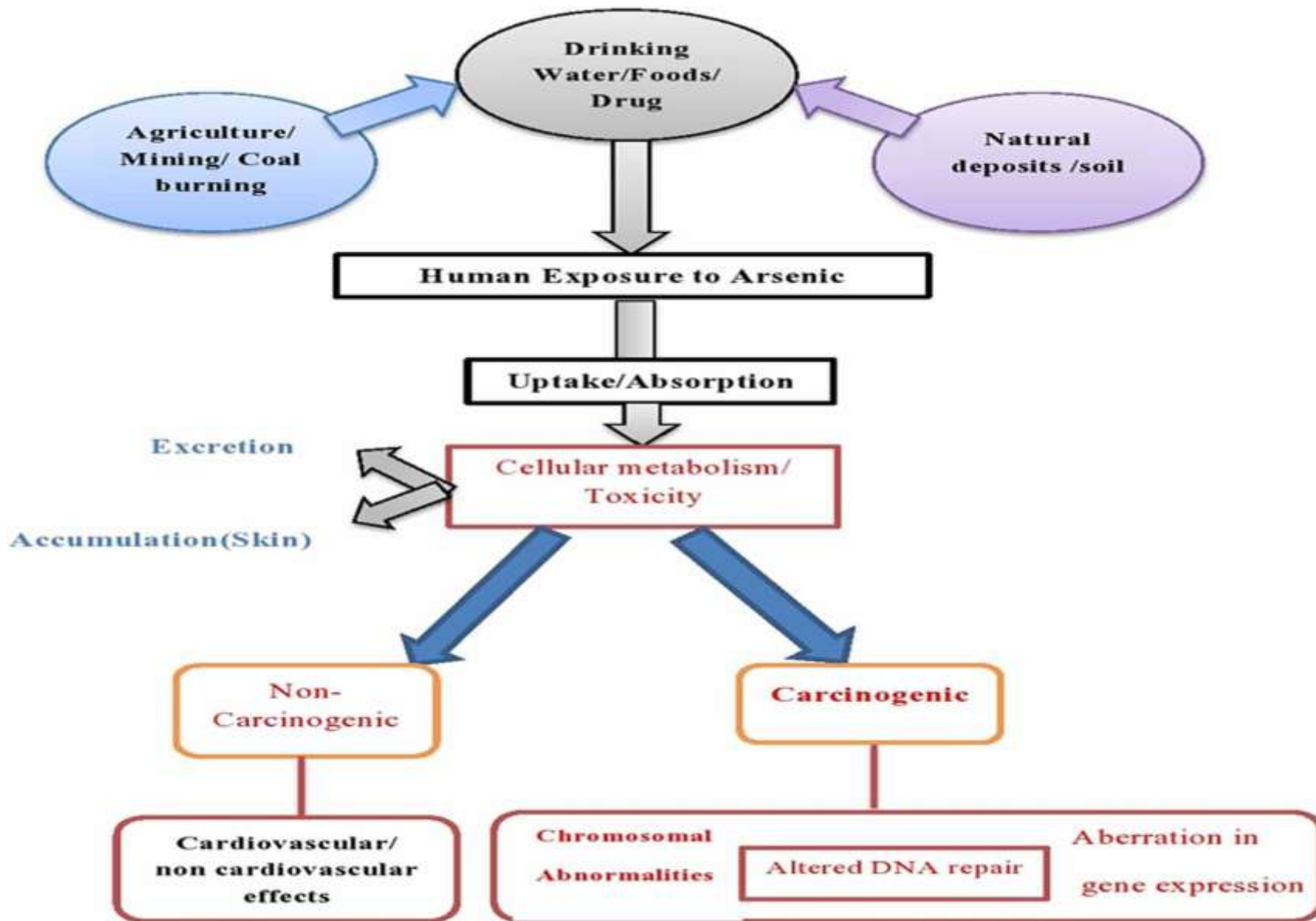
- Concentration can reach 100-200 ppb (parts per billion) = 200-400  $\mu\text{g}$  per 2 liters of water.

### PUBLIC WATER

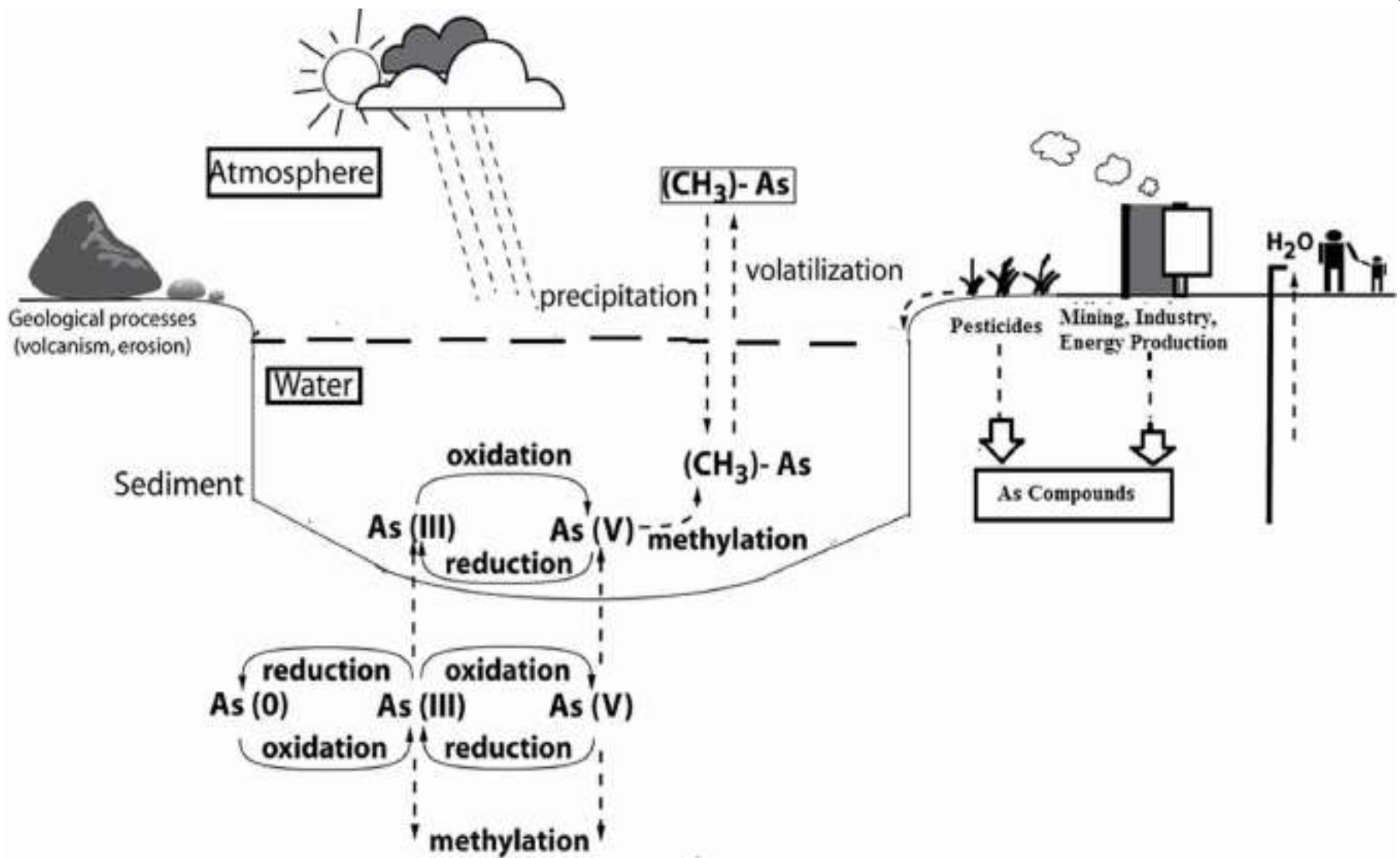
- Typical concentration: 2-4 ppb = 4-8  $\mu\text{g}$  per 2 liters of water.

**NOTE:** 10 ppb is the maximum concentration allowed, or 20  $\mu\text{g}$  per 2 liters of water.





Shivom Singh ITM University Gwalior, India , Kajal Srivastava G.B. Pant University of Agriculture and Technology, India, “ Handbook of Research on Uncovering New Methods for Ecosystem Management through Bioremediation ”, A volume in the Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series, Copyright © 2015 by IGI Global.



Shivom Singh ITM University Gwalior, India , Kajal Srivastava G.B. Pant University of Agriculture and Technology, India, “ Handbook of Research on Uncovering New Methods for Ecosystem Management through Bioremediation ”, A volume in the Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series, Copyright © 2015 by IGI Global.

Οι περισσότερες περιπτώσεις τοξικότητας για τον άνθρωπο από αρσενικό, έχουν συσχετιστεί με την έκθεσή του σε ανόργανο αρσενικό.

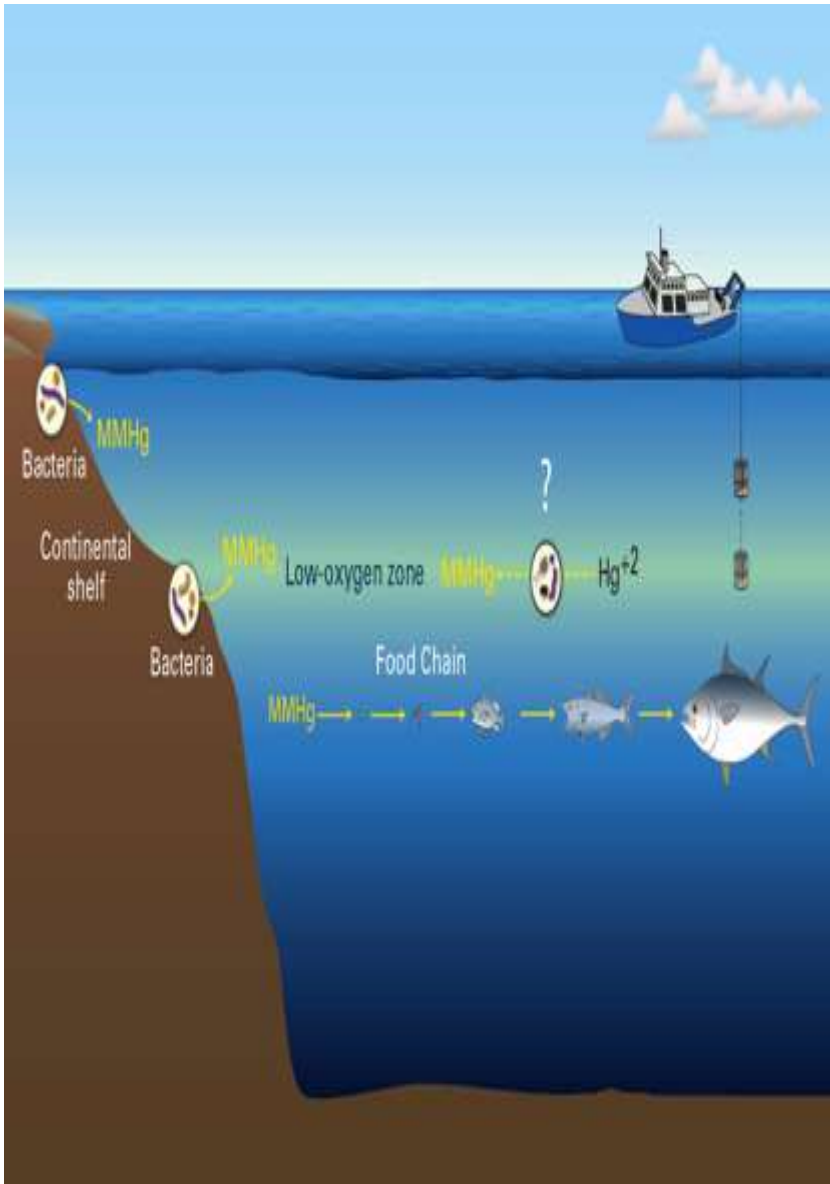
- Ο ανόργανος τρισθενής αρσενικός ( $\text{As}^{3+}$ ) είναι 2-10 φορές πιο τοξικός από τον πεντασθενή αρσενικό ( $\text{As}^{5+}$ ).
- Η τοξικότητα του αρσενικού, οφείλεται στην ικανότητα του να αλληλεπιδρά με σουλφυδρυλικές ομάδες πρωτεϊνών και ενζύμων και να υποκαθιστά τον φωσφόρο σε μια ποικιλία βιοχημικών αντιδράσεων.

# Υδράργυρος

- Είναι το μόνο κοινό μέταλλο που είναι υγρό σε θερμοκρασία δωματίου. Είναι συστατικό πολλών πετρωμάτων και για το λόγο αυτό απελευθερώνεται συνέχεια αλλά πολύ αργά μέσω των καιρικών συνθηκών στα φυσικά νερά, με φυσιολογική χημική διαδικασία.
- Μικρές είναι οι ποσότητες του υδραργύρου που εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα από πετρώματα που περιέχουν υδράργυρο στο φλοιό της Γης. Σε λίγα ppm ανέρχονται οι συγκεντρώσεις υδραργύρου στο νερό από φυσικές πηγές.
- Ο υδράργυρος και τα παράγωγά του χρησιμοποιούνται στην παραγωγή χημικών, βαφών, πλαστικών, ατσαλιού, και ηλεκτρικού εξοπλισμού καθώς και φαρμακευτικών. Επίσης χρησιμοποιούνται ως φυτοκτόνα, στη βιομηχανία του χαρτιού και ως μυκητοκτόνα κατά την επεξεργασία σπόρων.

- Ο υδράργυρος και τα παράγωγά του φθάνουν στα φυσικά αποθέματα νερού από πηγές κατασκευής, ή γεωργίας και από περιοχές εξόρυξης ψευδαργύρου πλούσιου σε υδράργυρο και μεταλλευμάτων αργύρου.
- Η κύρια πηγή εκπομπών υδραργύρου στην ατμόσφαιρα είναι η καύση του γαιάνθρακα, ο οποίος περιέχει πάντα λίγο υδράργυρο, από τα εργοστάσια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Άλλη πηγή είναι η αποτέφρωση αποβλήτων.
- Η ιπτάμενη τέφρα που περιέχει τον υδράργυρο ελευθερώνεται από τις καμινάδες και είναι δυνατόν να εισέρθει στα αποθέματα νερού κατά τη διαδικασία της επιστροφής στη Γη μέσω της βροχής.

- Στα αποθέματα του νερού ο υδράργυρος αλλά και τα παράγωγά του τείνουν να εγκαθίστανται στον πυθμένα και να προσκολλώνται στα ιζήματα.
- Τόσο ο υδράργυρος όσο και τα ανόργανα παράγωγά του δεν απορροφώνται αμέσως από τα υλικά του νερού.
- Τα αναερόβια βακτήρια στα ιζήματα του πυθμένα, μπορούν να μετατρέψουν αυτές τις μορφές υδραργύρου σε ιόντα μεθυλοϋδραργύρου ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) που είναι πολύ διαλυτά και απορροφώνται ταχύτατα.
- Σε περίπτωση που δεν καταποθεί μεγάλη ποσότητα, ο υδράργυρος και τα περισσότερα από τα ανόργανα άλατά του δεν προκαλούν σημαντική ζημιά γιατί εκκρίνονται από το σώμα γρήγορα.



**Ο μεθυλοϋδράργυρος ωστόσο παραμένει στο σώμα για μήνες** και είναι δυνατόν να βλάψει το κεντρικό νευρικό σύστημα, τα νεφρά, το ήπαρ αλλά να προκαλέσει και επιπλοκές στη γέννα.

Στη συνέχεια μέσω της τροφικής αλυσίδας, αυτός ο τύπος υδραργύρου περνά σε μεγαλύτερους οργανισμούς. Προχωρώντας στην τροφική αλυσίδα, ο μεθυλοϋδράργυρος συσσωρεύεται και συγκεντρώνεται.

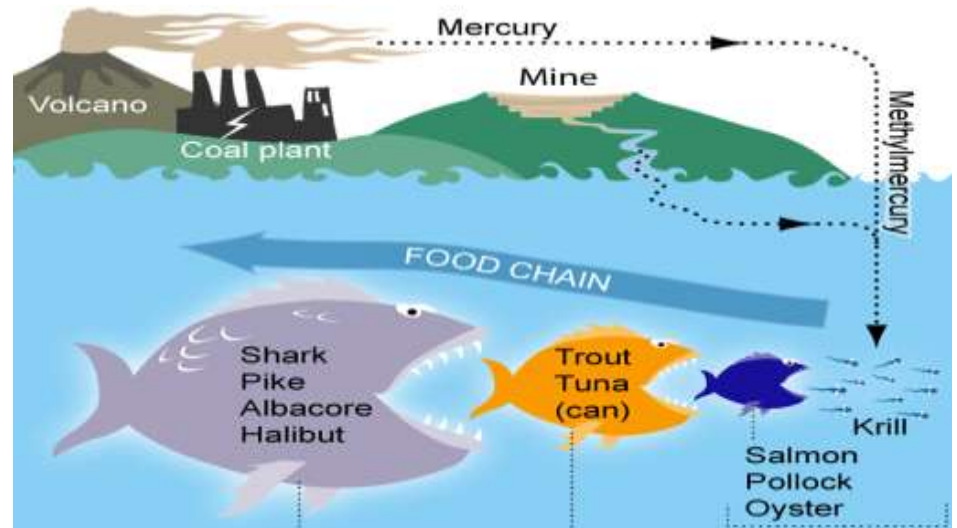
<http://oceans.mit.edu/news/featured-stories/quicksilver-consequences>





- Τα μεγαλύτερα ψάρια στην τροφική αλυσίδα, μπορούν να έχουν επίπεδα μεθυλοϋδραργύρου στον μυϊκό τους ιστό μεταξύ 10.000 και 100.000 φορές υψηλότερα από τα επίπεδα μεθυλοϋδραργύρου του νερού που διαβιούν.

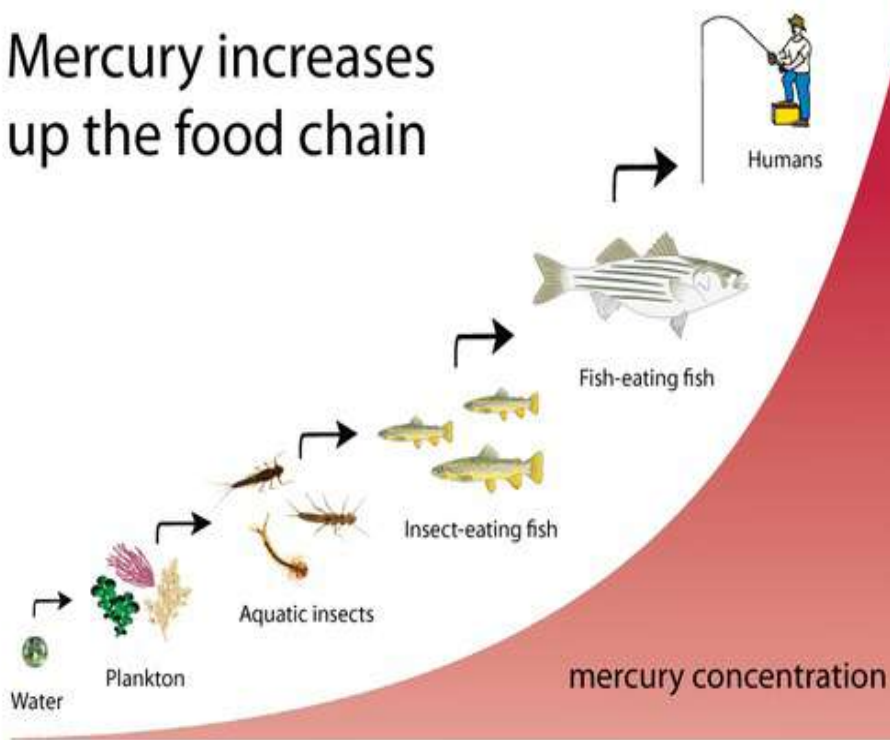
en.wikipedia.org



<http://oceans.mit.edu/news/featured-stories/quicksilver-consequences>

Η κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων μεγάλων ψαριών των ωκεανών μπορεί να είναι επικίνδυνη.

Mercury increases up the food chain

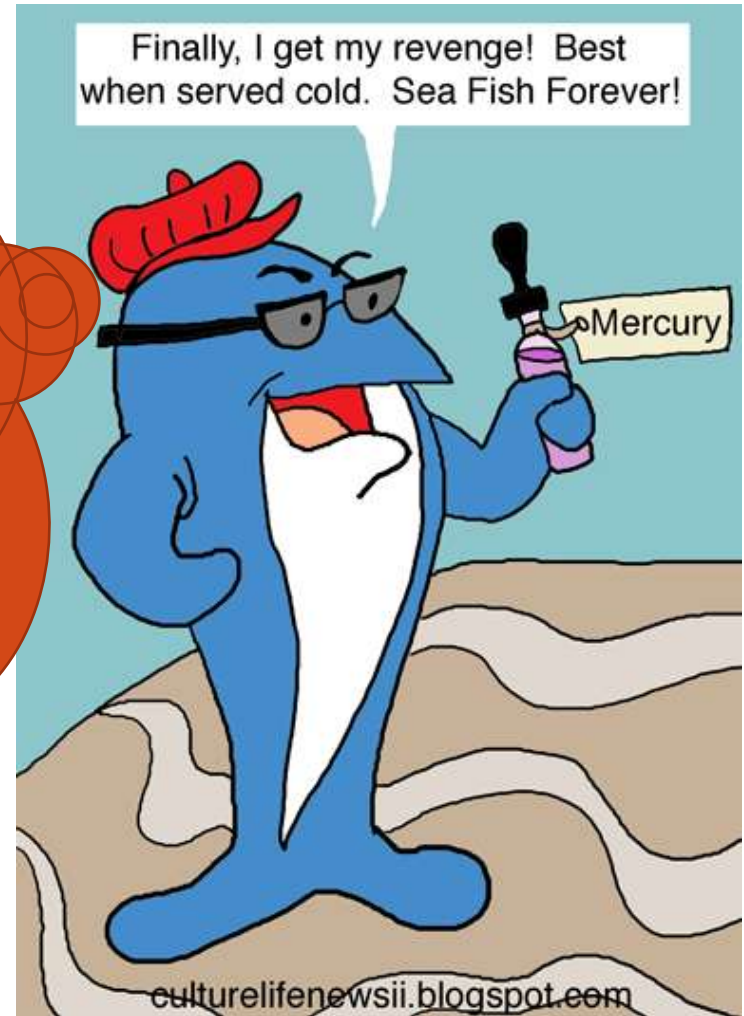


<http://www.publicnewsservice.org/2015-06-30/climate-change-air-quality/mercury-pollution-rule-still-intact-for-indiana/a46931-1>



<https://phys.org/news/2015-03-river-algae-affecting-mercury-pollution.html>

Τόνος, καρχαρίας,  
ξιφίας, είδη ψαριών  
που περιέχουν  
αυξημένα επίπεδα  
μεθυλοϋδράργυρου.



- 1950 Ιαπωνία: Εργοστάσιο χημικών απορρίπτει απόβλητα υδράργυρου στον κόλπο Minimata. Υδρόβιοι οργανισμοί μολύνονται με υδράργυρο, **σχηματίζεται τοξικό παράγωγο οργανικού υδραργύρου που περνά στην τροφική αλυσίδα και βιοπολλαπλασιάζεται.** Πάνω από 100 άνθρωποι δηλητηριάζονται, 45 πεθαίνουν και παιδιά γεννιούνται με ελαττώματα.
- 1972 Ιράκ: **Πάνω από 6000 άνθρωποι αρρωσταίνουν και 500 πεθαίνουν από όσους κατανάλωσαν ψωμί από σιτάρι που είχε υποστεί επεξεργασία με μυκητοκτόνο μεθυλοϋδραργύρου.** Τα σιτηρά προορίζονταν για σπορά όμως η ταμπέλα προειδοποίησης ήταν γραμμένη σε γλώσσα που δεν καταλάβαιναν οι Ιρακινοί.

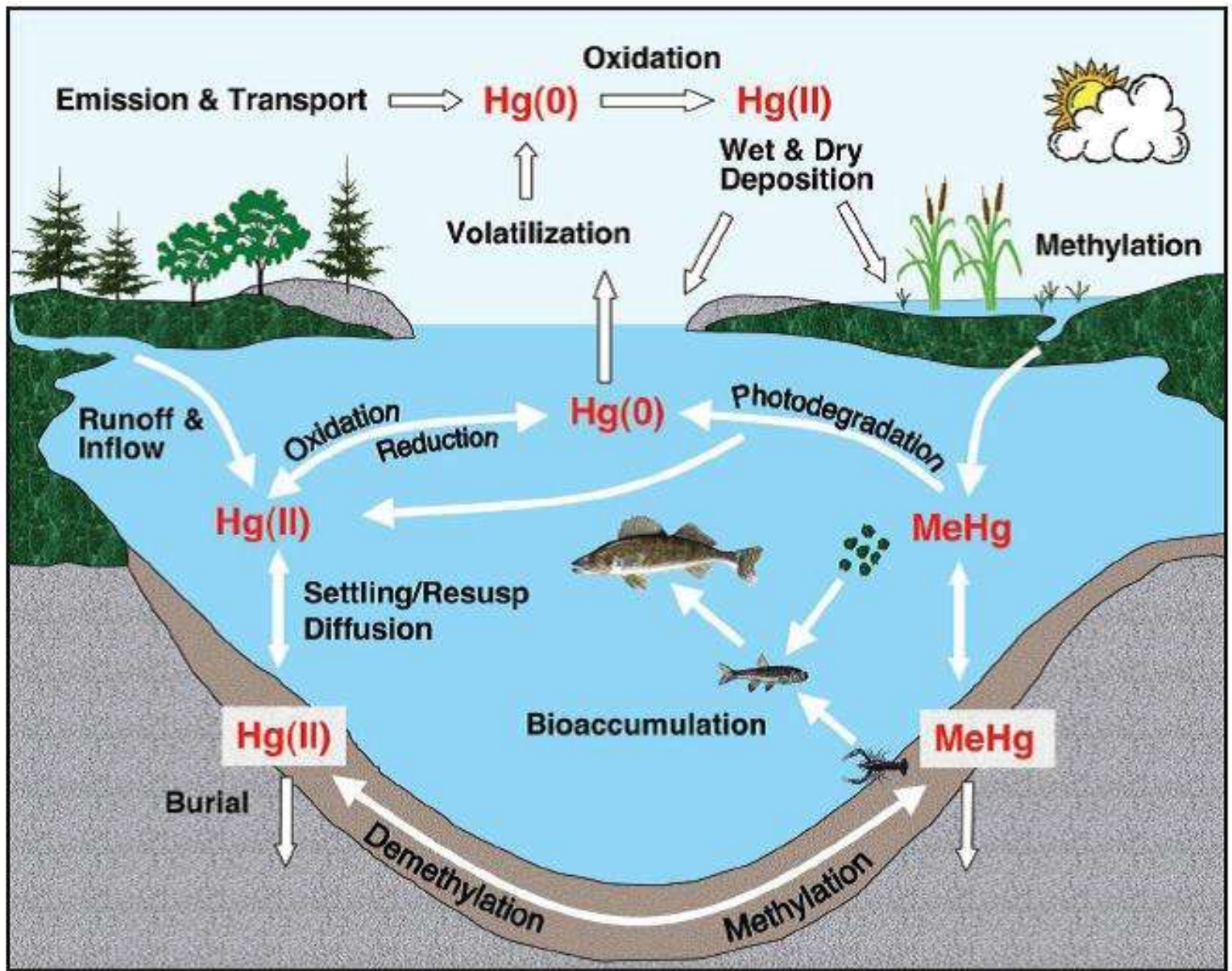
Η μετατροπή του υδραργύρου σε μεθυλοϋδράργυρο επιταχύνεται στο όξινο νερό, άρα η οξίνιση των λιμνών είναι δυνατόν να αυξήσει τη συγκέντρωση αυτής της τοξικής μορφής υδραργύρου στα ψάρια.

Η εισπνοή ατμών υδραργύρου ή η απορρόφηση των αλάτων του υδραργύρου μέσω του δέρματος έχει ως συνέπεια σοβαρά νευρολογικά προβλήματα.

- Οι ατμοί υδραργύρου, διαπερνούν εύκολα την κυτταρική μεμβράνη και δεσμεύουν τις σουλφυδρυλικές ομάδες, (SH, sulphhydryl). Έτσι αδρανοποιούνται ενώσεις του θείου και παρατηρείται "φραγή" ενζυμικών λειτουργιών και τελικά παραγωγή μεταβολιτών του θείου με μεγάλη τοξικότητα, τους οποίους ο οργανισμός δεν μπορεί να αποβάλλει.
- Το θείο είναι απαραίτητο συστατικό (ενζύμων, ορμονών, νευρικού ιστού και αρκετών κυτταρικών πληθυσμών του αίματος). Αναστολή της οξειδωσης του θείου σε κύτταρα έχει παρατηρηθεί σε πολλούς ασθενείς με χρόνιες εκφυλιστικές νόσους όπως Parkinson, Alzheimer.

# Πως επηρεάζει ο υδράργυρος την υγεία







# Μόλυβδος

- Η κυριότερη χρήση του σήμερα στην Αμερική, είναι η κατασκευή ηλεκτρικών συσσωρευτών μολύβδου-οξέος.
- Χρησιμοποιείται ως συστατικό ορισμένων τύπων συγκολλήσεων.
- Βρίσκεται σε γυαλιστικά τα οποία χρησιμοποιούνται σε ορισμένα είδη κεραμικών.
- Χρησιμοποιούνταν συστατικά μολύβδου για να χρωματίσουν τις βαφές έως το 1978 που με νόμο απαγορεύτηκαν.
- Ο μόλυβδος από το 1987, έχει απαγορευτεί ως πρόσθετο της βενζίνης, ( προσθήκη τετρααιθυλικού μολύβδου, για την αύξηση του αριθμού των οκτανίων). Στις υπανάπτυκτες χώρες οι εκπομπές αυτοκινήτων που περιέχουν μόλυβδο και σήμερα αποτελούν πρόβλημα.

## Τοξικότητα μολύβδου

- Από όλα τα τοξικά μέταλλα, είναι το πιο διαδεδομένο στο περιβάλλον και αυτό που είναι πιο πιθανό να συναντήσει ένας άνθρωπος. Ωστόσο δεν αποτελεί μεγάλο κίνδυνο πλέον σήμερα για τους ενήλικες, διότι αυτοί αποβάλλουν κατά μέσο όρο 2 mg μολύβδου/ μέρα, χωρίς οι περισσότεροι να λαμβάνουν τέτοια ποσά μολύβδου από την τροφή, το νερό ή τον αέρα.
- Σε περίπτωση που η πρόσληψη υπερβεί την έκκριση, αυτός μεταφέρεται πολύ γρήγορα στο μυελό των οστών και καταλήγει στα οστά κατά το 90%, ενώ κάποιες μικρές ποσότητες παραμένουν στο ήπαρ και στους νεφρούς.
- Ο μόλυβδος έχει την ικανότητα να διακόπτει το μεταβολισμό της αιμοσφαιρίνης και να προκαλεί αναιμία.
- Και αυτός όπως και ο υδράργυρος, αναστέλλει τη δράση ενζύμων που περιέχουν σουλφυδρυλικές ομάδες, προκαλώντας βλάβη στο κεντρικό νευρικό σύστημα.

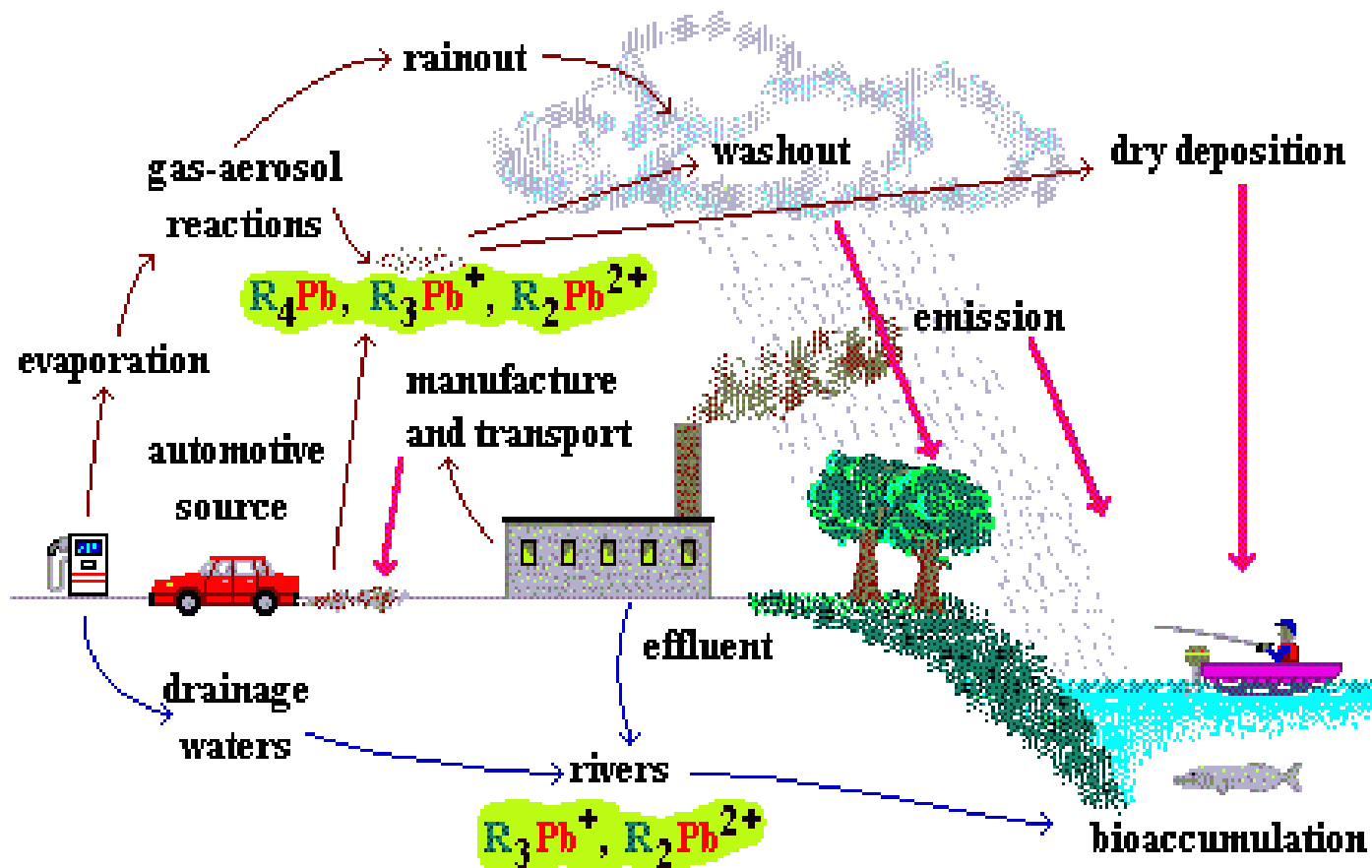
# Τοξικότητα μολύβδου

- Η ανίχνευση μολύβδου στο αίμα αξιολογείται ως δηλητηρίαση από Pb. Επικίνδυνες είναι και συγκεντρώσεις 10 mg/dL.
- Για τα μικρά παιδιά ο μόλυβδος είναι ιδιαίτερα τοξικός, διότι αποβάλλουν πολύ μικρότερα ποσά μολύβδου σε σχέση με αυτά που οι ενήλικες έχουν την ικανότητα να αποβάλλουν.
- Επίσης τα οστά τους αναπτύσσονται ακόμη, άρα μην έχοντας τη δυνατότητα να απορροφήσουν μόλυβδο το ίδιο γρήγορα με τα ανεπτυγμένα οστά, επιτρέπουν στο μόλυβδο να παραμένει για μεγαλύτερο διάστημα στην κυκλοφορία του αίματος κι έτσι αυξάνονται οι πιθανότητες για πρόκληση βλαβών στα αναπτυσσόμενα όργανα.
- Η έκθεση σε μόλυβδο είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα στη συμπεριφορά του παιδιού και να εμποδίσει τη σωματική και πνευματική ανάπτυξη.

## Ο κίνδυνος από το μόλυβδο σήμερα υπάρχει για:

- Άτομα κυρίως νεαρής ηλικίας που διαβιούν σε παλιά κτήρια με βαφές με μόλυβδο,
- Ανθρώπους που ζουν κοντά σε εργοστάσια ανακύκλωσης μπαταριών, σε χυτήρια μολύβδου ή και σε εργοστάσια που ελευθερώνουν πιθανά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία περιέχουν μόλυβδο.

# Κύκλος Pb



<http://www.anachem.umu.se/aas/lead.htm>

# Κάδμιο

- Χρησιμοποιείται στην ηλεκτρόλυση, αλλά και στην κατασκευή βαφών, πλαστικών, μπαταριών νικελίου-καδμίου και ράβδων ελέγχου οι οποίες χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία πυρηνικής ενέργειας.
- Τα προϊόντα αυτά είναι δυνατόν να μολύνουν το νερό, όμως **το πλέον ανησυχητικό, είναι το κάδμιο στα προϊόντα ψευδαργύρου.**

Τα πιο πολλά από τα μεταλλεύματα του ψευδαργύρου, περιέχουν μικρές ποσότητες καδμίου και έτσι λίγο κάδμιο, υπάρχει ως πρόσμιξη τόσο στον ψευδάργυρο, όσο και στα παράγωγά του, τα οποία παράγονται από τα μεταλλεύματα.

Κάδμιο και ψευδάργυρος μοιάζουν αρκετά. Και τα δύο βρίσκονται στη 12<sup>η</sup> ομάδα του ΠΠ.

Θεωρείται πιθανόν στο μηχανισμό δηλητηρίασης του καδμίου, να περιλαμβάνεται η υποκατάσταση του ψευδαργύρου από το κάδμιο σε συγκεκριμένα ένζυμα.

- Το κάδμιο συσσωρεύεται στο ήπαρ όταν εισέρχεται στο σώμα.
- Είναι καρκινογόνο.
- Ως μακροχρόνιες επιπτώσεις του θεωρούνται η αυξημένη πίεση του αίματος, καθώς και ασθένειες στα νεφρά, στο ήπαρ και στους πνεύμονες.
- Επίσης το  $\text{Cd}^{2+}$  είναι δυνατόν να αντικαταστήσει το  $\text{Ca}^{2+}$  στα οστά.

Το 1952, απόβλητα ορυχείου ψευδαργύρου απορρίφθηκαν σε Ποταμό στη Βόρεια Ιαπωνία και το νερό που μολύνθηκε χρησιμοποιήθηκε για άρδευση φυτειών ρυζιού. Οι άνθρωποι που τράφηκαν με το ρύζι αυτό ανέπτυξαν εξαιρετικά οδυνηρή βλάβη στο σκελετό τους, διότι λόγω απώλειας ασβεστίου τα οστά τους έγιναν εύθραυστα και έσπαζαν εύκολα. Πολλοί άλλοι υπέφεραν από πόνους κοιλιακούς, βλάβη στο ήπαρ και στους νεφρούς, διάρροια και έμετο.



- Ο ψευδάργυρος και τα παράγωγά του παρουσιάζουν πολλές εμπορικές χρήσεις.
- Μεγάλες είναι οι ποσότητες ψευδαργύρου που χρησιμοποιούνται για τη **γαλβανοποίηση του σιδήρου**. Πρόκειται για διαδικασία κατά την οποία ο σίδηρος καλύπτεται με ψευδάργυρο για να προστατευθεί από τη διάβρωση.
- Ο ψευδάργυρος είναι για τα φυτά ουσιώδες στοιχείο και άρα περιλαμβάνεται στα πιο πολλά λιπάσματα. Τα φυλλώδη λαχανικά αλλά και τα φύλλα του καπνού απορροφούν τον ψευδάργυρο μαζί με το κάδμιο που υπάρχει σε αυτόν από το νερό του εδάφους. Οι καπνιστές εξαιτίας της έκθεσής τους στον καπνό, διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο δηλητηρίασης από τους μη καπνιστές.



# Χρώμιο

- Οι πιο κοινές οξειδωτικές του καταστάσεις του χρωμίου, είναι οι: +3 (αδιάλυτος) και +6 (ευδιάλυτος) (υπόθεση Erin Brockovich).
- Το  $\text{Cr}^{6+}$  θεωρείται καρκινογόνο.
- Το  $\text{Cr}^{3+}$  θεωρείται ότι παρουσιάζει πολύ μικρότερη τοξικότητα.

# Χρήσεις χρωμίου

- Ηλεκτρολυτικές επιστρώσεις.
- Εφαρμογή ως αντιδιαβρωτικό.
- Εφαρμογή στην κατεργασία δερμάτων.

# Πηγές ρύπανσης από χρώμιο

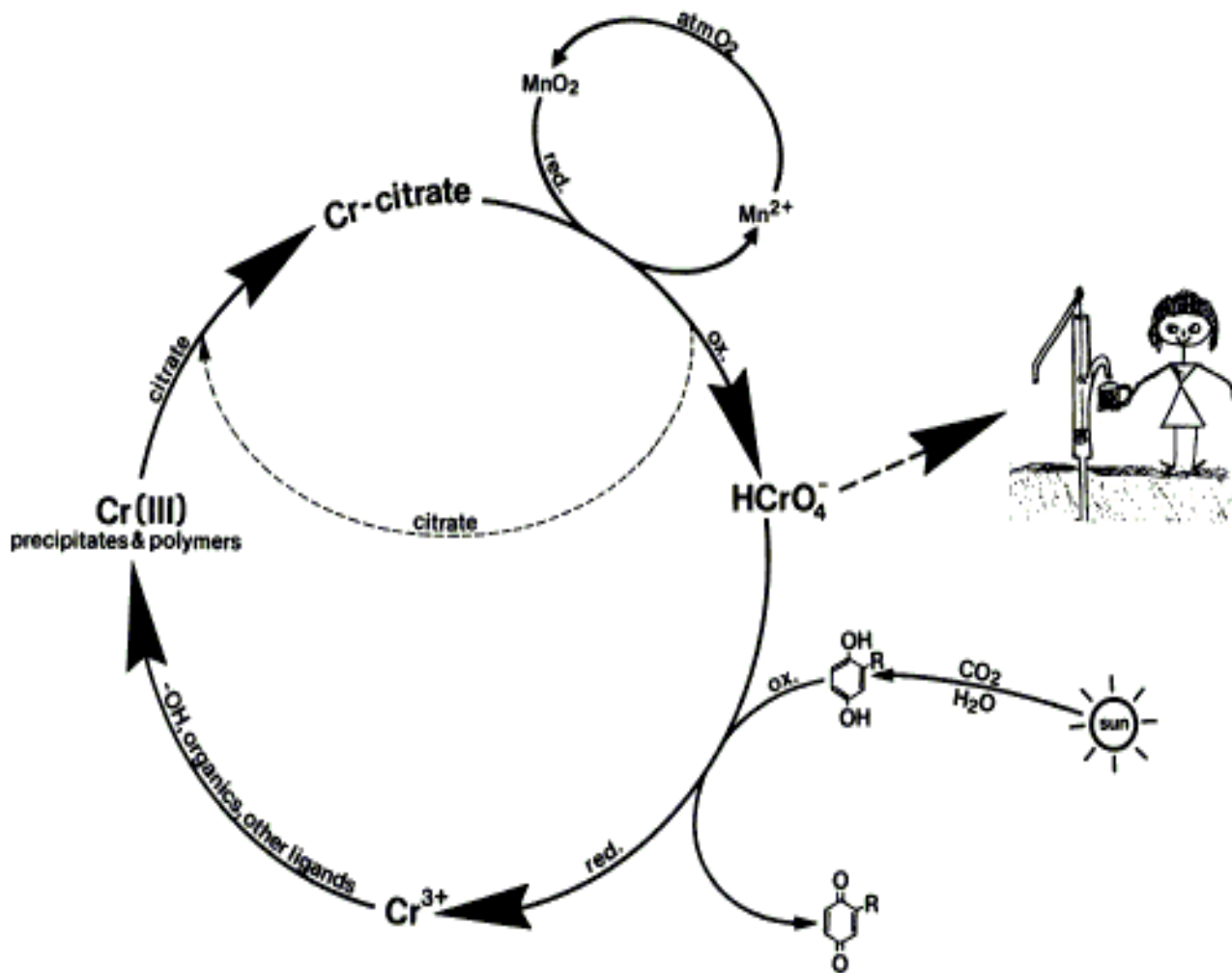
- Βιομηχανικές εκπομπές.
- Απόπλυση από τοποθεσίες επικίνδυνων αποβλήτων.
- Επεξεργασμένη ξυλεία.
- Απελευθέρωση κατά την εξόρυξη και την τήξη του χαλκού, του χρυσού και άλλων μετάλλων.

# Κύκλος Χρωμίου

- Οι κυριότεροι κρίκοι στην πορεία του χρωμίου στο έδαφος και στα φυσικά νερά, είναι μεταξύ του χρωμίου (III) και του χρωμίου (VI).
- Οι μικρότερες συνδέσεις, περιλαμβάνουν διαδικασίες κινητοποίησης και οξειδωσης – αναγωγής των CrIII και CrVI.
- Εάν προστεθεί διαλυτό CrIII σε ένα έδαφος, ένα τμήμα του θα καταστεί αμέσως οξειδωμένο από οξειδία μαγγανίου σε CrVI. Το υπόλοιπο του CrIII μπορεί να παραμείνει ανηγμένο για μεγάλες χρονικές περιόδους, ακόμη και παρουσία οξειδίων μαγγανίου.

# Κύκλος Χρωμίου

- Ωστόσο, αυτό το λιγότερο διαθέσιμο CrIII μπορεί να κινητοποιηθεί από οργανικούς συμπλοκοποιητές χαμηλού μοριακού βάρους και στην συνέχεια να οξειδωθεί όταν οι οξειδοαναγωγικές συνθήκες γίνουν κατάλληλες.
- Συνήθως μέρος CrVI που προστίθεται σε χώμα ή ιζήματα ανάγεται άμεσα, ειδικά υπό όξινες συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, οι υψηλές συγκεντρώσεις του ρυπογόνου CrVI μπορούν να εξαντλήσουν γρήγορα τα άμεσα διαθέσιμα αναγωγικά μέσα και η περίσσεια CrVI, η θερμοδυναμικώς σταθερή μορφή στον αέρα, μπορεί να παραμείνει επί χρόνια σε εδάφη ή λιμνοθάλασσες χωρίς να αναχθεί.



<https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/92/ehp.919217.pdf>

# COUNTERTHINK



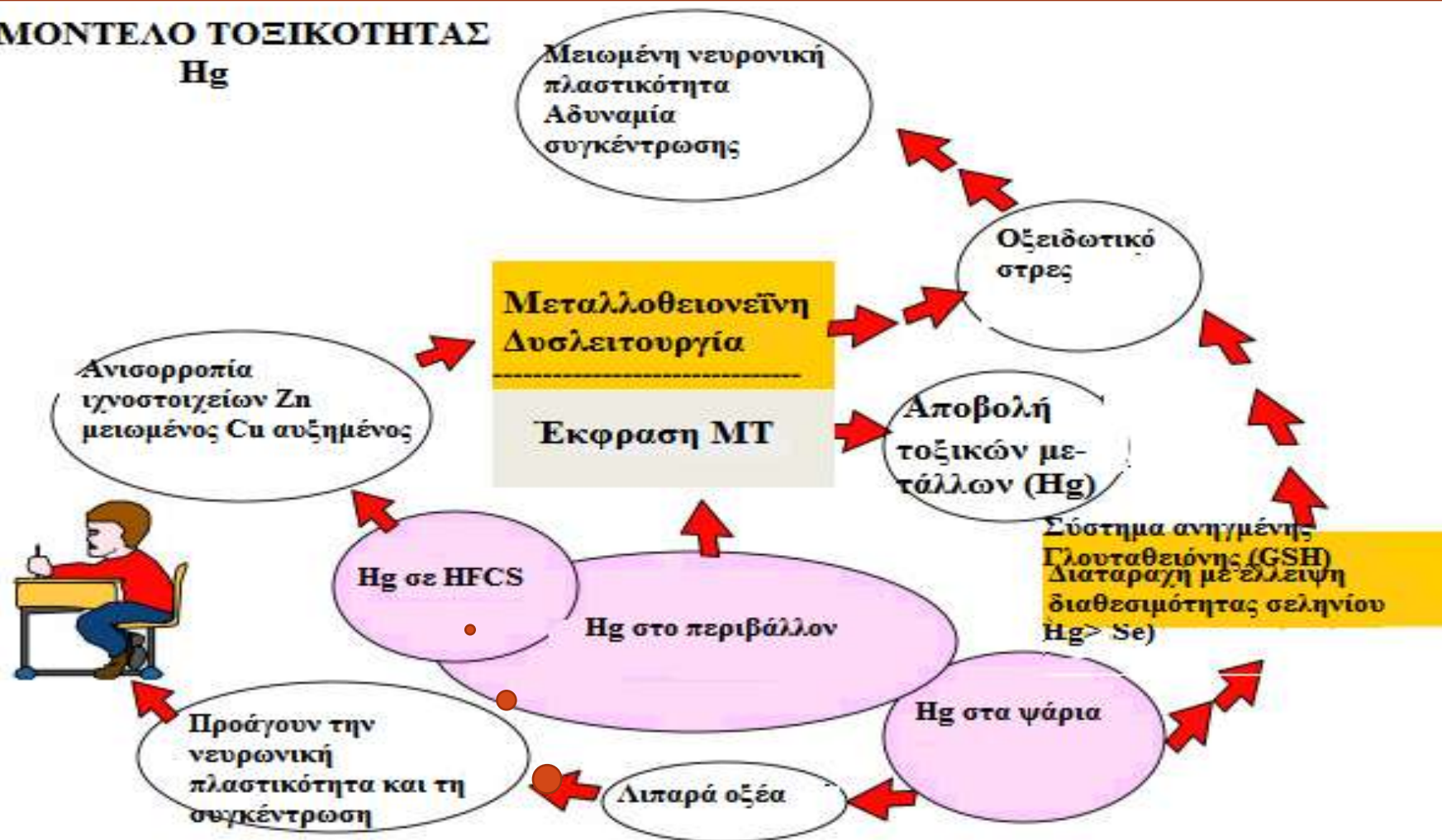


## Το αρχικό μοντέλο τοξικότητας του υδραργύρου ( 2009 Dufault et al.)

- Το μοντέλο είναι ένα διάγραμμα ροής, το οποίο παρουσιάζει τι μπορεί να συμβεί στο σώμα, όταν υπάρχει έκθεση σε υδράργυρο (Hg), λόγω λήψης τροφίμων, (ψαριών ή τροφίμων που περιέχουν HFCS) ή εισπνοής από τον αέρα.
- Η ανθρώπινη νευροανάπτυξη, μπορεί να επηρεαστεί δυσμενώς, όταν η έκφραση του γονιδίου MT (μεταλοθειονίνη), μεταβληθεί ή κατασταλεί λόγω ανεπάρκειας ψευδαργύρου (Zn). Χωρίς σωστή έκφραση και λειτουργία της MT, η απέκκριση του υδραργύρου μπορεί να μην είναι δυνατή και το οξειδωτικό στρες στον εγκέφαλο από την προσβολή του υδραργύρου, να οδηγήσει σε μειωμένη νευρωνική πλαστικότητα και εξασθενημένη μάθηση.

# Το αρχικό μοντέλο τοξικότητας του υδραργύρου 2009 Dufault et al

## ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ Hg



Το σιρόπι αραβοσίτου υψηλής περιεκτικότητας σε φρουκτόζη ( HFCS )

# Μεταλλοθειονεΐνη (MT)

- **Μεταλλοθειονεΐνες (MT).** Οικογένεια πρωτεϊνών πλούσιων σε κυστεΐνη, χαμηλού μοριακού βάρους (MW που κυμαίνεται από 500 έως 14000 Da).
- **Εντοπίζονται στη μεμβράνη της συσκευής Golgi.** Οι MT έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν τόσο τα απαραίτητα στοιχεία, (όπως ψευδάργυρο , χαλκό , σελήνιο ) όσο και τα βαρέα μέταλλα, (όπως για παράδειγμα το κάδμιο, τον υδράργυρο, τον αργύρο, το αρσενικό) .

# Μεταλλοθειονεΐνες (MT)

- Οι MT παρουσιάζουν την ικανότητα να παρέχουν προστασία έναντι της μεταλλικής τοξικότητας. Συμμετέχουν στη ρύθμιση του ψευδαργύρου και του χαλκού και παρέχουν προστασία έναντι του οξειδωτικού στρες.
- Στο ανθρώπινο σώμα, μεγάλες ποσότητες συντίθενται κυρίως στο ήπαρ και τα νεφρά . Η παραγωγή τους εξαρτάται από τα επίπεδα ιχνοστοιχείων όπως ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το σελήνιο, καθώς και των αμινοξέων ιστιδίνης και κυστεΐνης.

# Επίπεδα Zn και MT

- Εάν η διατροφή είναι ανεπαρκής σε Zn, ή η απορρόφηση του Zn είναι μειωμένη, τότε το σώμα μπορεί να μην παράγει αρκετή πρωτεΐνη MT για να μεταφέρει και να εκκρίνει το φορτίο βαρέων μετάλλων.
- Τα παιδιά με αυτισμό μπορεί να παρουσιάζουν ανεπάρκεια σε Zn και λόγω αυτής δυσλειτουργία MT.

# Γλουταθειόνη ισχυρή αντιοξειδωτική ουσία

Συντίθεται από τα τρία  
αμινοξέα κυστεΐνη, γλυκίνη και γλουταμινικό  
οξύ

- Η γλουταθειόνη (*glutathione, GSH*), γνωστή (ιδίως παλαιότερα) και ως γλουταθείο, είναι οργανική χημική ένωση με σημαντική αντιοξειδωτική δράση στους ζωντανούς οργανισμούς.
- Η γλουταθειόνη ανήκει στις χρήσιμες για τον οργανισμό ουσίες, τις οποίες μπορεί να συνθέσει ο οργανισμός μόνος του από τα αμινοξέα που την αποτελούν.

# Γλουταθειόνη ισχυρή αντιοξειδωτική ουσία

- Μέσα στους οργανισμούς, η γλουταθειόνη υπάρχει σε δύο οξειδωτικές καταστάσεις. Την ανηγμένη (GSH) και την οξειδωμένη (GSSG). Στην πρώτη, η σουλφυδρυλομάδα (SH) της κυστεΐνης, είναι ικανή να δώσει ένα αναγωγικό ισοδύναμο σε άλλα ασταθή μόρια, όπως οι δραστικές ρίζες του οξυγόνου.

- Στη βιοχημεία, ο όρος αναγωγικό ισοδύναμο (reducing equivalent) αναφέρεται στις χημικές ουσίες που μεταφέρουν το ισοδύναμο ενός  $e^-$  σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.

Παραδείγματα αναγωγικών ισοδυνάμων είναι:

- $e^-$  (όπως σε αντιδράσεις που συμμετέχουν μεταλλικά ιόντα).
- Άτομο υδρογόνου (που αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο  $H^+ + e^-$ , όπως εδώ).
- Ιόν υδριδίου ( $:H^-$ ) που μεταφέρει δύο ηλεκτρόνια (όπως σε αντιδράσεις που συμμετέχει το NAD).

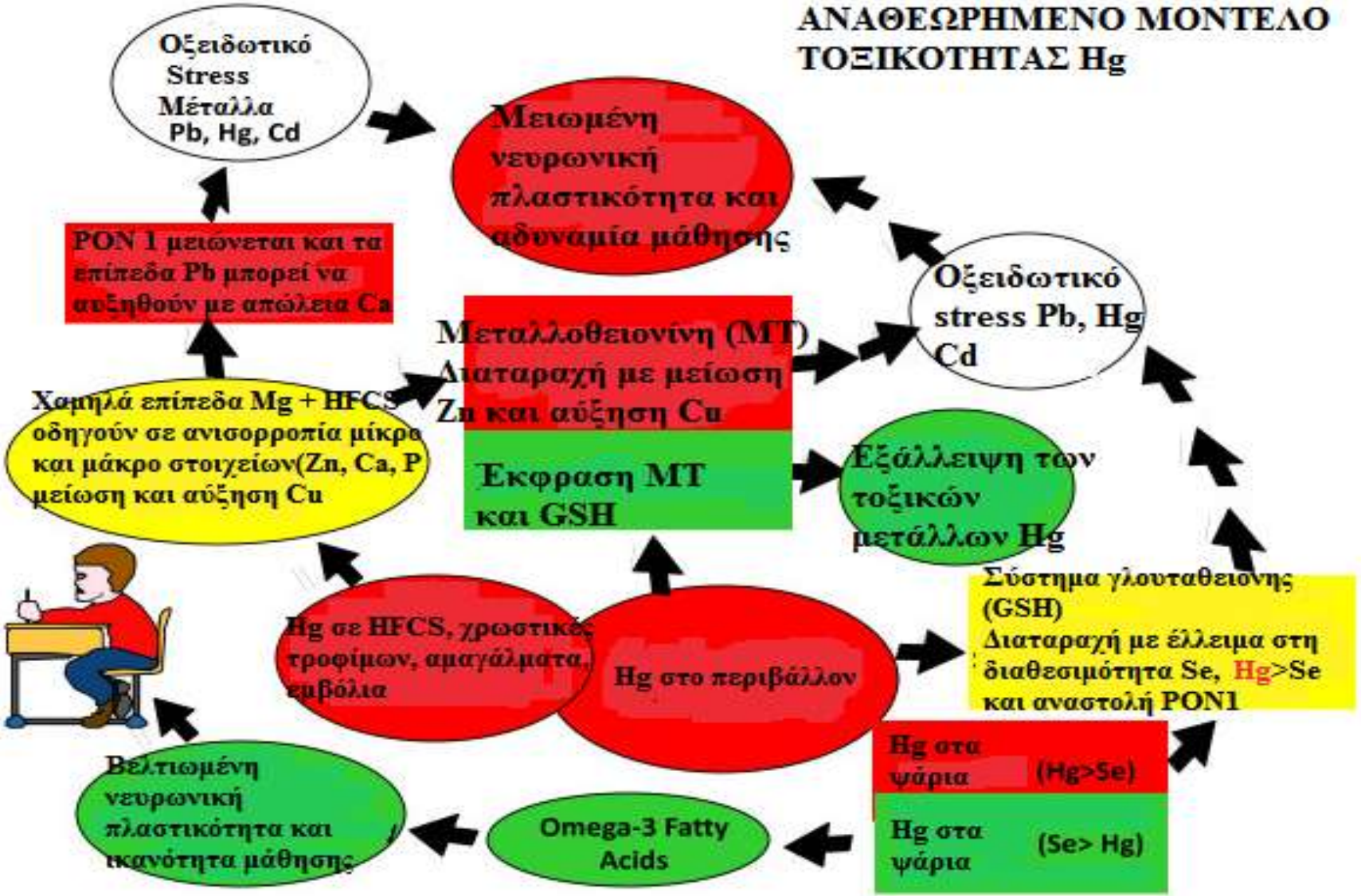
Συνένζυμο, (οργανικό τμήμα ενζύμου) που βρίσκεται σε όλα τα ζωντανά κύτταρα οξειδωμένο  $NAD^+$  ή ανηγμένο  $NADH$

# Γλουταθειόνη

- Το κυριότερο ενδογενές αντιοξειδωτικό που παράγεται από τα κύτταρα. Συμμετέχει απευθείας στην εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και των ενεργών μορφών του οξυγόνου, ενώ συντηρεί και εισαγόμενα αντιοξειδωτικά, όπως οι βιταμίνες C και E στις ανηγμένες (ενεργές) μορφές τους.
- Ρυθμίζει τον κύκλο του μονοξειδίου του αζώτου, που είναι κρίσιμος για τη ζωή.
- Επιδρά σε μεταβολικές και βιοχημικές αντιδράσεις όπως η σύνθεση και επισκευή του DNA, η πρωτεϊνοσύνθεση, η σύνθεση προσταγλανδίνης, η μεταφορά αμινοξέων και η ενεργοποίηση ενζύμων. Για τον λόγο αυτό, κάθε σύστημα του σώματος μπορεί να επηρεασθεί από την κατάσταση του συστήματος της γλουταθειόνης, ιδίως το ανοσοποιητικό, το νευρικό, το γαστρεντερικό και οι πνεύμονες.
- Πρωταρχικής επίσης σημασίας είναι η δράση της στον μεταβολισμό του σιδήρου.



# ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑΣ Hg



[https://www.researchgate.net/figure/223971780\\_fig1\\_The-original-Mercury-Toxicity-Model-The-original-Mercury-Toxicity-Model-was-published-in](https://www.researchgate.net/figure/223971780_fig1_The-original-Mercury-Toxicity-Model-The-original-Mercury-Toxicity-Model-was-published-in)

# Παραοξονάση PON 1

- Οι παραοξονάσες, είναι μια οικογένεια ενζύμων που απαντώνται στα θηλαστικά.
- Υπάρχουν τρεις γνωστές παραοξονάσες. Κωδικοποιούνται από τα γονίδια *PON1*, *PON2* και *PON3*.
- Η παραοξονάση 1, έχει γονιδιακή έκφραση κυρίως στο ήπαρ. Η παραοξονάση 1 που συντίθεται στο ήπαρ, μεταφέρεται στη ροή του αίματος όπου θα συσχετιστεί με τη λιποπρωτεΐνη ( HDL ). Έχει αποδειχθεί, ότι προστατεύει από την έκθεση σε μερικά οργανοφωσφορικά (όπως εκείνα από εντομοκτόνα) με την υδρόλυση δυνητικά τοξικών μεταβολιτών. Η παραοξονάση 1 παίζει επίσης σημαντικό ρόλο ως αντιοξειδωτικό στην πρόληψη της οξείδωσης των λιποπρωτεϊνών ( LDL ).

**Διασκόπηση:  
προσεκτική  
εξέταση**

**Στη γεωλογία διασκόπηση  
σημαίνει  
προσεκτική εξέταση του  
εδάφους, με σκοπό  
την εξακρίβωση της δομής του  
ή την εύρεση κοιτασμάτων.  
(Για παράδειγμα  
υδρογονοανθράκων ή  
μεταλλευμάτων.)**

# Βιογεωχημική διασκόπηση:

- Χημική ανάλυση των φυτικών ειδών.
- Χημική ανάλυση και προσδιορισμός των επιπέδων μετάλλων σε δείγματα εδάφους.
- Μελέτη του βιογεωχημικού κύκλου των στοιχείων (θρεπτικών και τοξικών).

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ  
ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

$$BAC = C_p / C_s$$

όπου

$C_p$ : η

συγκέντρωση στο  
φυτό

$C_s$ : η

συγκέντρωση στο  
έδαφος

Οι παράγοντες οι οποίοι ελέγχονται κατά τη διαδικασία του προσδιορισμού της συγκέντρωσης των στοιχείων στα φυτικά είδη, είναι οι εξής:

Το γένος και το είδος του φυτού



Τα όργανα του φυτού



Το βάθος του ριζικού συστήματος



Το pH του εδάφους



Η αποστράγγιση του εδάφους



Η εποχή του έτους και η ηλιοφάνεια

# Γεωβοτανική και βιογεωχημεία: Κλάδοι της γεωχημείας βλάστησης

Το χρώμα των φύλλων την άνοιξη επηρεάζεται από παρουσία συγκεκριμένων μετάλλων

Γεωβοτανική:

- Μελετά τη βλάστηση οπτικά.
- Ερευνά την παρουσία ή απουσία φυτών, χαρακτηριστικών για κάποιες χημικές ουσίες (φυτά δείκτες).

Φυτό καλαμίνα δείκτης  
κοιτάσματος Zn.

Βιογεωχημεία:

- Ανάλυση κυρίως φύλλων, (κατά δευτερεύοντα ρόλο κορμών και κοτσανιών). Υπάρχουν φυτά που συγκεντρώνουν συγκεκριμένα στοιχεία στον ιστό τους όπως το καλαμπόκι τον χρυσό.

## Πως απαντώνται στο έδαφος τα βαρέα μέταλλα

- Με τη διαλυτή τους μορφή στο υδατικό διάλυμα ή στο νερό στράγγισης.
- Στη στερεή φάση του εδάφους, συγκρατημένα με διάφορες μορφές.
- Με τη μορφή αδιάλυτων ενώσεων στο ίζημα.
- Στα φυτά που καλλιεργούνται στο έδαφος ή υπάρχουν σε αυτό.
- Με τη μορφή πτητικών ενώσεων στην αέρια φάση, όπως κατά κύριο λόγο ο υδράργυρος.

## Η δέσμευσή των βαρέων μετάλλων στη στερεή φάση του εδάφους, εξαρτάται από:

- Το pH του εδάφους, (με την αύξηση του pH, το έδαφος είναι ικανό να συγκρατεί τα στοιχεία περισσότερο. Η ικανότητα γίνεται μέγιστη σε ουδέτερες και αλκαλικές περιοχές pH. Το χρώμιο, αποτελεί εξαίρεση αφού παρουσιάζει κινητικότητα σε αλκαλικές περιοχές).
- Την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (I.A.K.).
- Το δυναμικό οξειδοαναγωγής.
- Την περιεκτικότητα σε άργιλο του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα αργίλου, τόσο μεγαλύτερη η I.A.K..
- Την οργανική ουσία του εδάφους. Η οργανική ουσία, είναι κύριος παράγοντας ισχυρής συγκράτησης στοιχείων στο έδαφος.
- Την περιεκτικότητα σε οξείδια και υδροξείδια σιδήρου, μαγγανίου και αργίλου.



Φυτοθεραπεία ή  
φυτοεκχύλιση

Μέθοδος απομάκρυνσης βαρέων  
μετάλλων

# Φυτοθεραπεία

Διαδικασία βιοδιαχείρισης, κατά την οποία χρησιμοποιούνται διάφορα φυτά, με σκοπό τελικά την αφαίρεση, των ρύπων από το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα.

Η φυτοακτινοβόληση είναι μια ολοκληρωμένη πολυεπιστημονική προσέγγιση για τον καθαρισμό μολυσμένων εδαφών, η οποία συνδυάζει τις επιστήμες της φυσιολογίας των φυτών, της χημείας του εδάφους και της μικροβιολογίας του εδάφους. Είναι μια οικονομικά αποδοτική και συμβατή με το περιβάλλον διαδικασία που χρησιμοποιεί φυτά για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από το περιβάλλον μέσω απορρόφησης, συσσώρευσης ή μετασχηματισμού αυτών των μετάλλων σε φυτική βιομάζα. (McCutcheon and Schnoor, 2003).

# Φυτοθεραπεία

- Η φυτοθεραπεία, χρησιμοποιεί φυτά ή άλγη για να απομακρύνει τους ρύπους από τα εδάφη, τα ιζήματα ή το νερό.
- Η φυτοθεραπεία, έχει αυξηθεί ραγδαία σε δημοτικότητα παγκοσμίως τα τελευταία είκοσι χρόνια περίπου.
- Ένα ζωντανό φυτό μπορεί να συνεχίσει να απορροφά τους μολυντές μέχρι τη συγκομιδή του.
- Μετά τη συγκομιδή, θα παραμείνει στο έδαφος ένα χαμηλότερο επίπεδο ρύπων, οπότε ο κύκλος ανάπτυξης / συγκομιδής πρέπει να επαναλαμβάνεται συνήθως μέσω αρκετών καλλιεργειών για να επιτευχθεί σημαντική εκκαθάριση.

## Φυτοθεραπεία

Οι φυσικές και χημικές μέθοδοι καθαρισμού και αποκατάστασης εδαφών μολυσμένων από βαρέα μέταλλα έχουν σοβαρούς περιορισμούς όπως υψηλό κόστος, μη αναστρέψιμες μεταβολές στις ιδιότητες του εδάφους, καταστροφή της φυσικής μικροχλωρίδας του εδάφους και δημιουργία δευτερευόντων προβλημάτων ρύπανσης. Αντίθετα, η φυτοθεραπεία είναι μια καλύτερη λύση στο πρόβλημα και είναι φιλική προς το περιβάλλον.



Selenium by *Bassia Scoperia*



Cadmium by *Salix Viminalis*



Arsenic by sun Flower (*Helianthus Annus*)



Zinc by *Thlaspi Caerulescens*

<https://www.slideshare.net/huzaifaumar/phytoaccumulation>

# Βιβλιογραφία

- «Αρχές Περιβαλλοντικής Χημείας», James E. Girard, Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης Μόσχος Πολυσίου, Πέτρος Ταραντίλης, Χρήστος Παππάς, Μετάφραση Αικατερίνη Βενετσάνου, Χριστίνα Μήτση, Επιστημονικές Εκδόσεις ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ Α.Ε., 2018.
- <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/arsenic/index.cfm>
- <https://esircworldwide.com/environmental-issues/water-contamination/arsenic-defined/>
- Shivom Singh ITM University Gwalior, India , Kajal Srivastava G.B. Pant University of Agriculture and Technology, India, “ Handbook of Research on Uncovering New Methods for Ecosystem Management through Bioremediation ”, A volume in the Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series, Copyright © 2015 by IGI Global.
- Paul B Tchounwou, Clement G Yedjou, Anita K Patlolla, Dwayne J Sutton, Heavy Metals Toxicity and the Environment, *NIH-RCMI Center for Environmental Health, College of Science, Engineering and Technology, Jackson State University, 1400 Lynch Street, Box 18750, Jackson, MS 39217, USA*
- [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/758/1/02\\_chapter\\_04.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/758/1/02_chapter_04.pdf)
- Χαραλαμπίδης Γεώργιος, « Περιβαλλοντική Γεωχημεία», Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος και Μηχανικών Αντιρρύπανσης, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας.
- «Περιβαλλοντική Χημεία», IBÁÑEZ JORGE G.HERNÁNDEZ-ESPARZA MARGARITADORIA-SERRANO CARMENFREGOSO-INFANTE ARTUROMOHAN SINGH MONO, Μετάφραση: Νικολαΐδου Βασιλική, Πρεβεδώρας Θεόδωρος, Βακάκη Βασιλική, 2016, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας
- Αριάδνη Αργυράκη « Εφαρμοσμένη Γεωχημεία», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο αθηνών

- «Περιβαλλοντική Χημεία», IBÁÑEZ JORGE G.HERNÁNDEZ-ESPARZA Γανταδάκη Άννα “ Γεωφυσική Διασόπηση με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας σε χώρο ανέγερσης των κτιριακών εγκαταστάσεων του Τμήματος ΜΗ. ΠΕ. Του Πολυτεχνείου Κρήτης”, Διπλωματική Εργασία, πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Εξεταστική Επιτροπή, Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Βαφείδης Αντώνιος, (επιβλέπων), Σουπιός Παντελής
- Βασιλεία Τσιαλιτζούδη, “Μελέτη της προσρόφησης ιόντων τρισθενούς χρωμίου από υλικά φιλικά προς το περιβάλλον”, Πτυχιακή διατριβή, τριμελής Επιτροπή Δημήρκου ανθούλα, Δαναλάτος Νικόλαος, Γκόλια Ευαγγελία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Γεωπονία Φυτικής Παραγωγής και αγροτικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο εδαφολογίας,
- <https://emedicine.medscape.com/article/814960-overview>
- <http://www.anachem.umu.se/aas/lead.htm>
- «A macroepigenetic approach to identify factors responsible for the autism epidemic in the United States» Renee Dufault<sup>1</sup>, Walter J Lukiw, Raquel Crider, Roseanne Schnoll , David Wallinga and Richard Deth. Clinical Epigenetics 2012
- <https://en.wikipedia.org/wiki/>