

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

:

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών--Επιστήμες Γής και Περιβάλλον

Ειδίκευση "Ορυκτοί Πόροι - Πετρολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος"

ΟΠΠ-Ε03 ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ ΜΕΤΑΜΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΟΠΠ-Ε03. MINERAL RESOURCES, MINING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΑΞΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ
ΥΛΩΝ (Ο.Π.Υ.) ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ**

**[INDUSTRY VALUE CHAIN AND GEOENVIRONMENTAL
MODELS]**

Καθηγητής Στέφανος Π. Κίλιας
2023

“Κανείς δεν
μπορεί να δει
εκείνα που δεν
γνωρίζει”

Goethe

Σήμερα, η ποικιλομορφία στα χρησιμοποιούμενα υλικά/μέταλλα/χημικά στοιχεία είναι ο κανόνας παρά η εξαίρεση

Παραδείγματος χάρη, για να κατασκευαστεί ένα chip ενός σύγχρονου υπολογιστή χρησιμοποιούνται περισσότερα από **60** χημικά στοιχεία/μέταλλα



Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί ιδιοτροπία του κατασκευαστή αλλά μια προσεκτικά υπολογισμένη προσπάθεια για την επίτευξη συνεχούς βελτίωσης στην απόδοση των διάφορων προϊόντων, από τα απλούστερα έως τα πιο πολύπλοκα.

Τα Ορυκτά και Τα Μέταλλα Υποστηρίζουν κάθε άποψη της καθημερινής μας ζωής

>> Μια ... ορυκτή μέρα, Βήμα προς βήμα

Το εικοσιτετράωρό μας είναι γεμάτο - τόσο μεταφορικά (κάνουμε δεκάδες πράγματα κάθε μέρα) όσο και κυριολεκτικά (χρησιμοποιούμε δεκάδες αντικείμενα για να διεκπεραιώσουμε τις ασχολίες μας). Το εικοσιτετράωρό μας, όμως, είναι επίσης γεμάτο από ορυκτά.

Ξυπνάμε κάθε πρωί σε ένα σπίτι που αποτελείται από Τσιμέντο: ασβεστόλιθος, αργιλόχωμα, ποζολλάνη, γύψος κ.ά.

Αιθουμένια κουφώματα: βωξίτης κ.ά.
Συνθετικά κουφώματα: πολυμερές (π्लाστικό PVC) και σκόνες ορυκτών (τάλκης κ.ά.)

Μονωτικά ορυκτά: ελαφρόπετρα, περλίτης κ.ά.

Θερμοσυσσωρευτές: τούβλα από δουνίτη ή ολιβίνη (χρησιμοποιείται και στα κυτάρια)

Αν έχουμε οικολογική συνείδηση και έχουμε αποφασίσει να επενδύσουμε στη νέα τεχνολογία για να εξοικονομήσουμε ενέργεια (και χρήματα), το σπίτι μας είναι εφοδιασμένο με Φωτοβολταϊκά: πυρίτιο με πρώτη ύλη το χαλαζία. Αλλιώς φροντίζουμε το σπίτι μας να τροφοδοτείται με **Ενέργεια:** λιγνίτης, γαιάνθρακας, μαζούτ, πετρέλαιο εσωτερικής καύσεως

Πηγαίνουμε στην τουαλέτα και κάνουμε ντους. Χρησιμοποιούμε

Είδη υγιεινής και πηλάκια: άστριος, καολίνης, χαλαζίας

και πλένουμε τα δόντια μας

Οδοντόπαστα: ανθρακικό ασβέστιο, ορυκτά νατρίου, φθορίτης

Μετά πηγαίνουμε στην κουζίνα, τρώμε πρωινό και καταπίνουμε (πάντα με μέτρο) κι ένα χαπάκι με βιταμίνες.

Εμφιαλωμένοι χυμοί, βρώσιμα λάδια: για το φίλτράρισμα χρησιμοποιείται γη διατόμων, περλίτης και ατταπουλιγίτης

Σύνθεση βιταμινών: ορυκτά λίθιου (λιεπιδόλιθος, σποδομενίτιο, πεταλιτης)

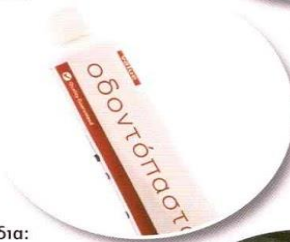
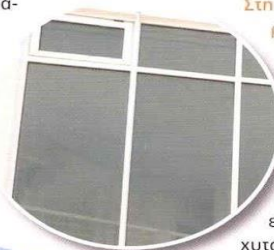
γυρνάμε στο υπνοδωμάτιο και ντυνόμαστε,

Ξέβαμμα τζιν: κίσσηρη (ελαφρόπετρα)

Δέψη δερμάτων: χρωμίτης

ίσως βαφόμαστε κιόχλας

Ιριδίζουμε σκιές ματιών: μίκα



Στη συνέχεια παίρνουμε το λεωφορείο ή το μετρό (ή, αν δεν μας εξυπηρετούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς, μπαίνουμε στο αυτοκίνητό μας) για να πάμε στη δουλειά.

Ένα αυτοκίνητο περιέχει 100-150 κιλά βιομηχανικών ορυκτών (στα τζάμια του, στα ελαστικά, στα πλαστικά και στα χαλύβδινα μέρη), καθώς και περισσότερο από 1 τόνο σε μέταλλα (αλουμίνιο, σίδηρο, νικέλιο, μολυβδένιο, χρώμιο, μόλυβδος, κ.ά.).

Κάποια από τα σημαντικότερα ορυκτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου είναι:

- ορυκτά σιδήρου (λιεμωνίτης, αιματίτης, γκαϊτίτης, μαγνησίτης)
- ορυκτά χαλκού (χαλκοπυρίτης)
- ορυκτά άλλων μετάλλων λιτερίτης (νικέλιο, χρωμίτης (χρώμιο), μολυβδενίτης (μολυβδένιο), βοήφραμιτης (βοήφραμίο), βαναδινίτης (βανάδιο)

• άλλα ορυκτά φωσφορίτης, μπεντονίτης, βωξίτης, σπάνιες γαίες, χαλαζίας κ.α.

Πιο συγκεκριμένα, σε επιμέρους τμήματα του αυτοκινήτου χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων:

Λιπαντικά αυτοκινήτου: ορυκτά λίθιου (λιεπιδόλιθος, σποδομενίτιο, πεταλι-

της)

Πλαστικά αυτοκινήτου: μίγμα του καθεατού πολυμερούς με σκόνες ορυκτών όπως ανθρακικό ασβέστιο, καολίνης, τάλκης, μίκα, ένυδρη μαγνησία, χουντίτης-υδρομαγνησίτης, βοήλαστονίτης, βερμικουλίτης, αμίαντος

Μπαταρία αυτοκινήτου: πλάκες μολύβδου από το ορυκτό γαλβάνης

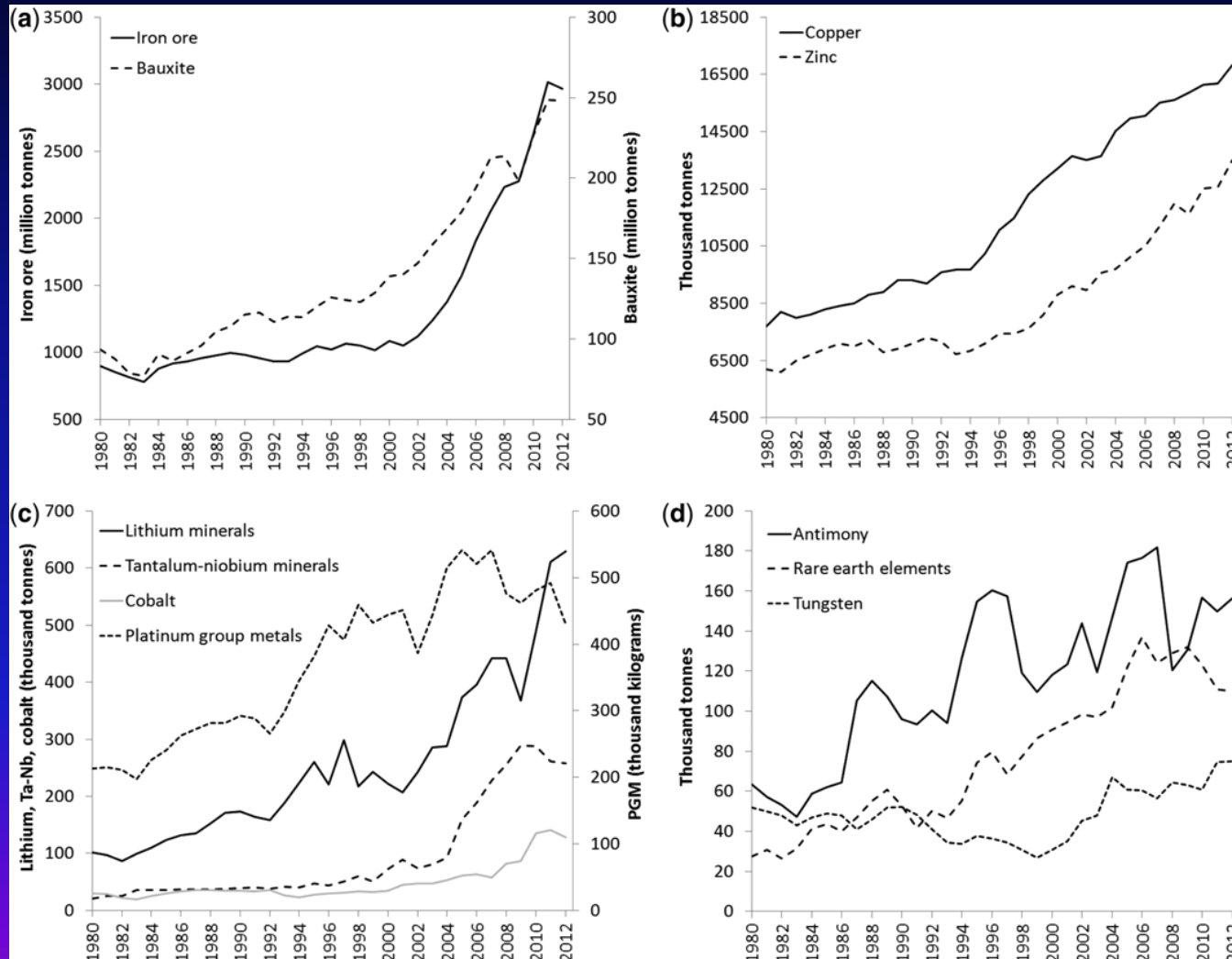
Φρένα: βερμικουλίτης, γραφίτης, αμίαντος

Καταλύτης: πηλίτιο, πηλίτιο, νικέλιο

Ακολουθούμε τη γνωστή μας διαδρομή προς τη δουλειά.

Αντιοπισθηρός τάπητας στους δρόμους: διαβάσης, γρανίτης κ.ά.

Τα Μέταλλα χρησιμοποιούνται σε συνεχώς αυξανόμενες ποσότητες καθώς και σε μια ευρέως αυξανόμενη ποικιλία εφαρμογών ιδιαίτερα για να ικανοποιήσουν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των νέων τεχνολογιών



Lusty, P. A. J., & Gunn, A. G. (2015). Challenges to global mineral resource security and options for future supply. *Geological Society, London, Special Publications*, 393(1), 265-276.

Η ενεργειακή μετάβαση και η ηλεκτροκίνηση στηρίζονται και εξαρτώνται από την παραγωγή και χρήση ορυκτών πρώτων υλών

Brown Economy

Fossil Fuels for combustion engines, generators and power stations: oil, gas, coal

Energy Transition

Green Economy

Functional Materials in e-motors, energy storage, energy conversion containing, for example, Co, Li, Pt, REE, Ge, Ga, Si, V



Fundamental shift in the resource basis of society

From Geology to Mineral Resources

Raw materials supply: a bottleneck in the transition to a low carbon energy system

Low-carbon power comes from processes or technologies that produce power with substantially lower amounts of carbon dioxide emissions than is emitted from conventional fossil fuel power generation. It includes low carbon power generation sources such as wind power, solar power, hydropower and nuclear power.^{[1][2]} The term largely excludes conventional fossil fuel plant sources and is only used to describe a particular subset of operating fossil fuel power systems, specifically, those that are successfully coupled with a gas carbon capture and storage (CCS) system.

Nikolaos Arvanitidis

Dr. Economic Geologist

Head of Bedrock and Geochemistry Division-SGU

Chair of EuroGeoSurveys Mineral resources Expert Group





Αλυσίδα αξίας των ΟΠΥ



Κυκλική οικονομία

Αποτελεσματική αξιοποίηση

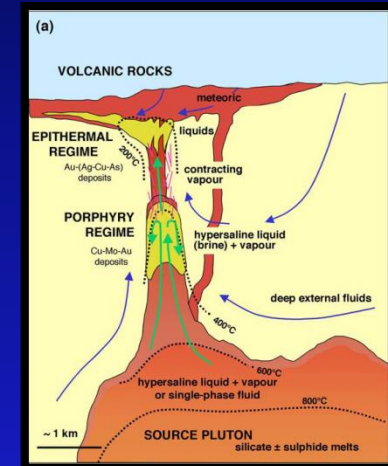
Υπεύθυνη εξόρυξη

Βιώσιμη εκμετάλλευση

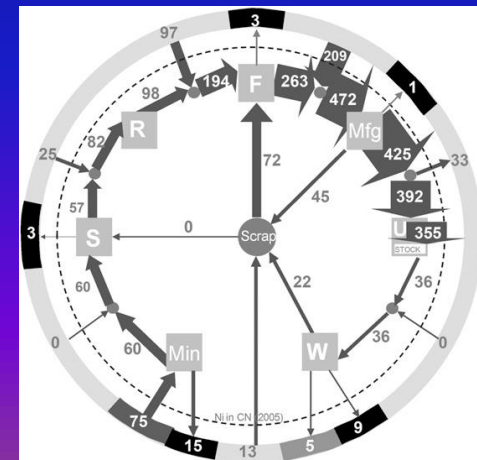
- **Επιτακτική ανάγκη εντοπισμού περισσότερων ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ Μεταλλικών και Ορυκτών Πρώτων Υλών (Μ.Ο.Π.Υ) για να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες παγκόσμιες ανάγκες σε μέταλλα υψηλής τεχνολογίας**



- **Απαραίτητα προϋπόθεση για να εντοπισθούν νέα κοιτάσματα είναι να κατανοηθούν καλύτερα οι γεωλογικές διεργασίες που συγκεντρώνουν αυτά τα Μέταλλα στη γήινη σφαιρα**



Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα και για να αποφευχθούν ακούσιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις απαιτείται η χαρτογράφηση του κύκλου ζωής των μεταλλικών κοιτασμάτων και των μετάλλων , δηλ. εξασφάλιση της “Βιομηχανικής Αλυσίδας Αξίας” του κάθε μετάλλου από το κίτασμα στο υπέδαφος και μέσω του μεταλλουργικού εργοστασίου μέχρι την τελική βιομηχανική χρήση



Ευρωπαϊκές προκλήσεις σχετικά με τις ΟΠΥ

Ο μεταλλευτικός κλάδος διασφαλίζει την βιωσιμότητα αλυσίδων αξίας της υψηλής τεχνολογίας

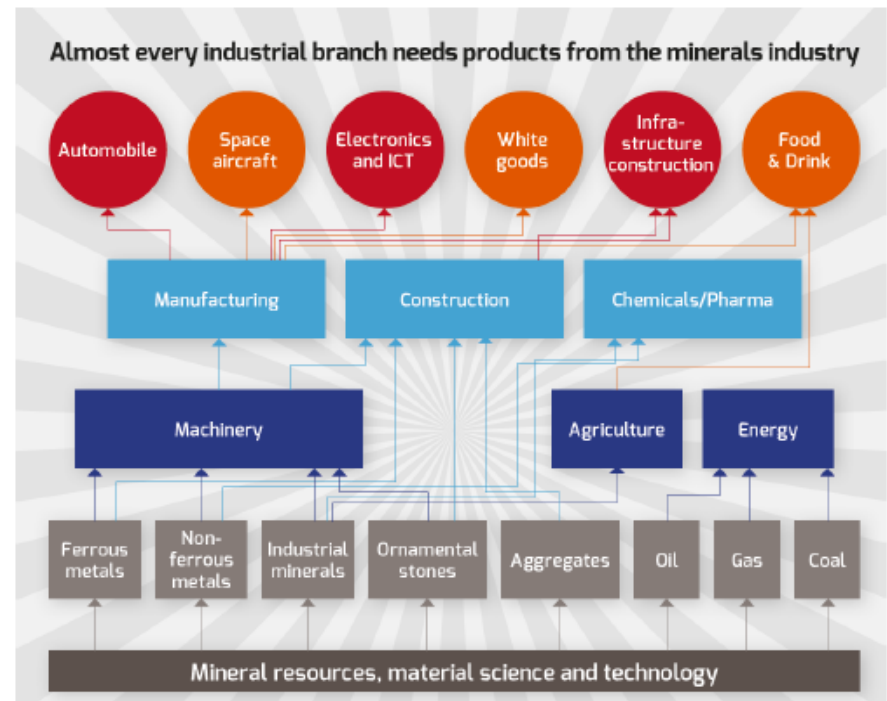
Η αλυσίδα αξίας των ΟΠΥ αναπτύσσεται από τη γεωλογική έρευνα, την εξόρυξη και την επεξεργασία μέχρι την ανακύκλωση μετάλλων

Η ισχυρή περιβαλλοντική δέσμευση τόσο κατά τη λειτουργία, όσο και για την αποκατάσταση της περιοχής εξόρυξης, συνοδεύει την αλυσίδα αξίας εκμετάλλευσης των ΟΠΥ

Η μετάβαση σε μια βιώσιμη Ευρώπη με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, και στόχο την πράσινη οικονομία

Η ηλεκτροκίνηση και η γενικότερη ηλεκτροποίηση της βιομηχανίας, καθώς και τα συστήματα και εγκαταστάσεις αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές

Η παραγωγή αδρανών υλικών για την κατασκευή νέων υποδομών μεταφορών καθώς και νέων οικολογικών κτιρίων



Η σημασία των Γεωπεριβαλλοντικών Μοντέλων Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ.

Η δυνητική περιβαλλοντική απειλή ενός μεταλλείου, ή ενός κοιτάσματος μετάλλων/φυσικής μεταλλοφορίας που δεν έχει υποστεί εκμετάλλευση, είναι πολύπλοκη και μπορεί να κατανοηθεί και να αντιμετωπιστεί μέσω εξειδικευμένης γνώσης:

- Κοιτασματολογίας
- Ορυκτολογίας
- Γεωχημείας
- Υδρογεωλογίας
- Γεωτεχνικής Μηχανικής

Για να γίνει κατανοητή η περιβαλλοντική διάσταση μια υπάρχουσας ή προγραμματισμένης μεταλλευτικής δραστηριότητας απαιτείται βασική γνώση, ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ Μ.Ο.Π.Υ., έτσι ώστε να αξιολογηθεί σωστά η δυνητική περιβαλλοντική καταστροφή σε μία συγκεκριμένη περιοχή/παραχώρηση

THE ENVIRONMENTAL GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS:

Important geologic characteristics of mineral deposits that influence their environmental signatures, how climate and mining and mineral processing methods modify the environmental signatures mandated by deposit geology, and how climate and geology influence the effects of the deposits on the surrounding environment. In addition, the chapter will show how mineral deposit types with similar geologic characteristics have generally similar and predictable environmental signatures, and will discuss the development of empirical geoenvironmental models of various mineral deposit types.

Βήματα και Διαδικασίες Ανάκτησης ενός Εμπορεύσιμου Προϊόντος (Μέταλλο/Βιομηχανικό Ορυκτό) από ένα Κοίτασμα Ο.Π.Υ. (Mining)

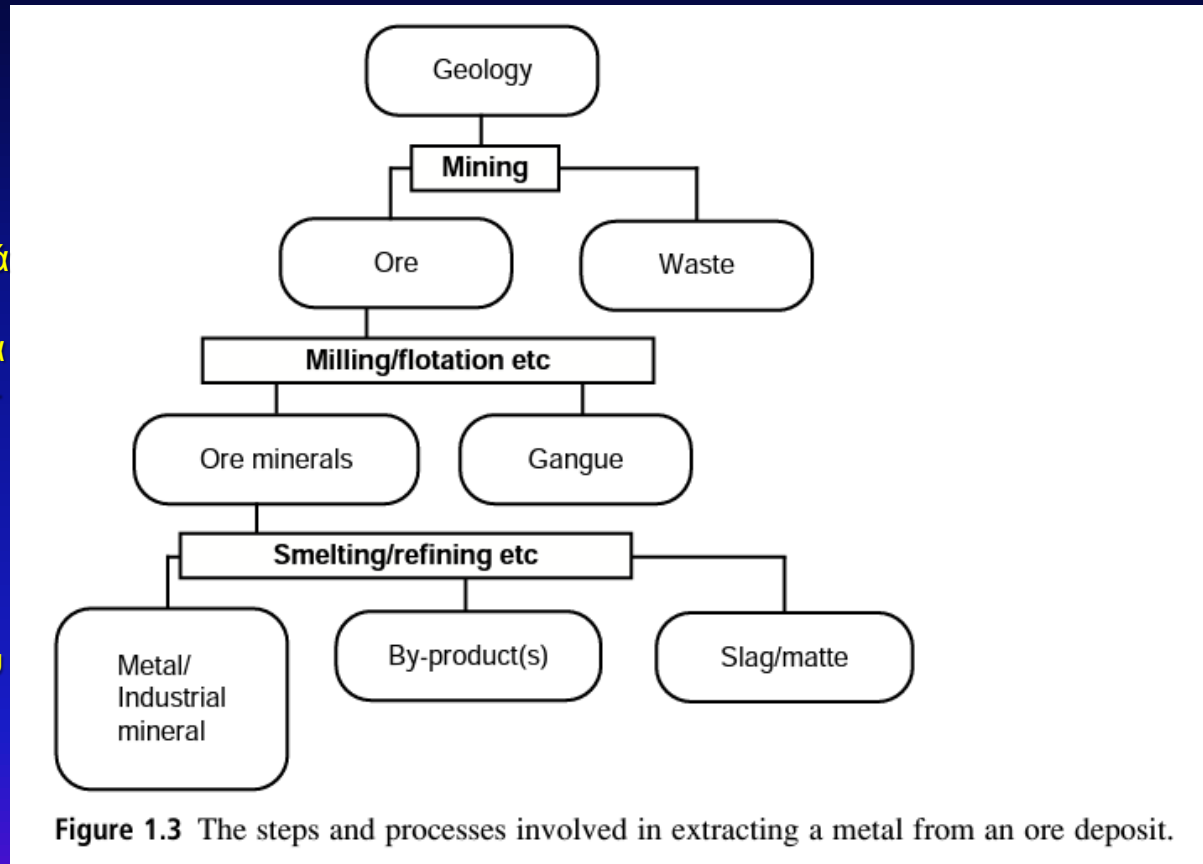


Figure 1.3 The steps and processes involved in extracting a metal from an ore deposit.

Το Μετάλλευμα (Ore) περιέχει μεταλλευτικά ορυκτά “ανακατεμένα” με άλλα ορυκτά (Waste), από τα οποία πρέπει να διαχωριστούν μέσω θραύσης και κονιοποίησης (Milling). Αυτές οι διαδικασίες επεξεργασίας συνήθως ακολουθούνται από επίπλευση (flotation) για να γίνει διαχωρισμός των ορυκτών οικονομικού ενδιαφέροντος (Ore minerals) από τα μη αξιοποιήσιμα (Gangue). Τα περισσότερα μεταλλικά ορυκτά δεν είναι “αυτοφυή” μέταλλα, αλλά είναι ενώσεις στις οποίες τα μέταλλα ενδομούνται και από τις οποίες πρέπει να ανακτηθούν (Metal/Industrial mineral, By-product(s)) μέσω μεταλλουργικής επεξεργασίας (Smelting/refining etc). Παρομοίως πολλά βιομηχανικά ορυκτά (Industrial mineral) πρέπει να υποστούν επεξεργασία εμπλουτισμού πριν να πωληθούν. Οι μέθοδοι επεξεργασίας του μεταλλεύματος, π.χ. επίπλευση (flotation), εμπλουτισμός (refining), και ανάκτηση (extraction) επιλέγονται βάσει της ορυκτολογικής σύστασης και των φυσικών ιδιοτήτων του μεταλλεύματος. Η επιστήμη της ανάκτησης περιλαμβάνει θέματα Χημείας και Επιστήμης των Μηχανικών και συνιστά τον κλάδο της Εξορυκτικής Μεταλλουργίας (Extractive Metallurgy)

THE LIFECYCLE OF A MINE

**for illustrative purposes only*

Exploration

1



5 TO 10 YEARS +

Looking for the mineral deposits

**Permitting & financing are key in this phase*

Design

2

Designing a potential mine project

3 TO 5 YEARS

**Permitting & financing are key in this phase*



Construction

3



2 YEARS +

Building roads and other facilities for the mine

Production

4

Extracting the minerals for production

10 YEARS +



Closure

5



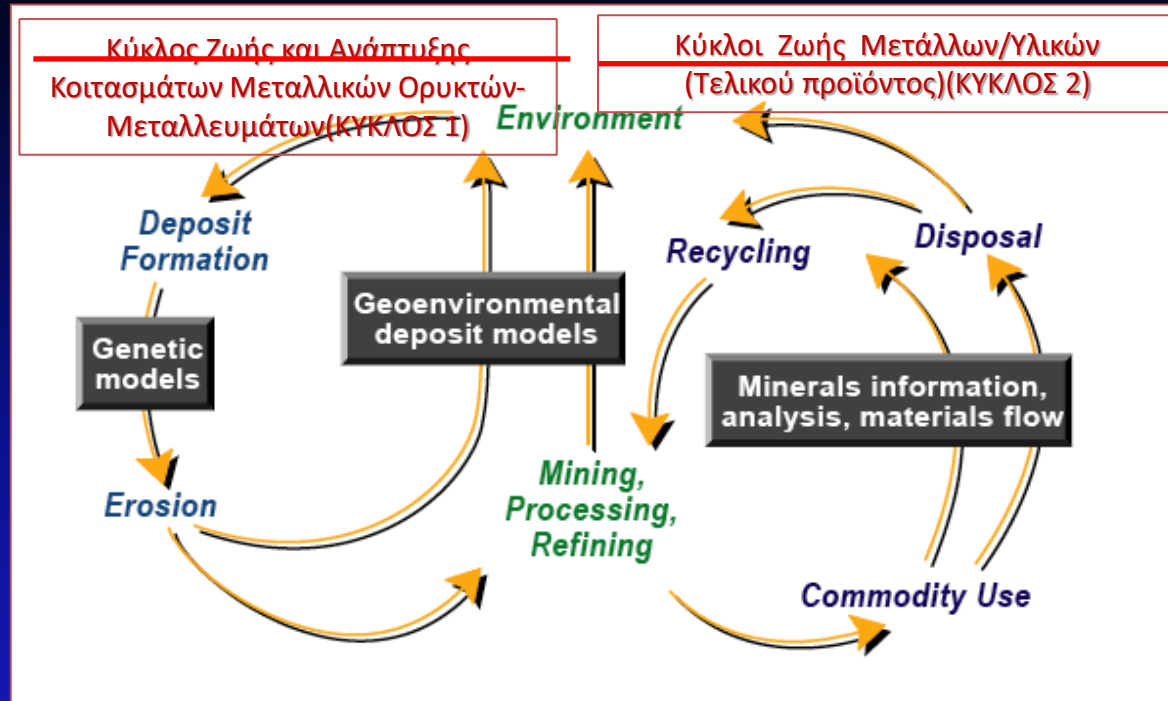
1 TO 5 YEARS

Securing the closure and reclamation of the site

**AVERAGE TIME GRASSROOTS TO MINE:
10-17 + YEARS**

Ο Κύκλος “Ζωής”
ενός Μεταλλείου

Κύκλος Ζωής και Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ.



Τα “Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων”(Geoenvironmental deposit models) αποτελούν φυσικές προεκτάσεις των “Μοντέλων Γένεσης Κοιτασμάτων”(Genetic models). Ένα Γεωπεριβαλλοντικό Μοντέλο ενός κοιτάσματος (μεταλλικών) ορυκτών είναι μια συλλογή γεωλογικών, γεωχημικών, γεωφυσικών, υδρολογικών, και μηχανικών δεδομένων που αφορούν στην περιβαλλοντική συμπεριφορά γεωλογικά παρόμοιων κοιτασμάτων (1) πριν από την ανάπτυξη μεταλλείου-ορυχείου (Mining), και (2) σαν αποτέλεσμα της μεταλλευτικής δραστηριότητας (Mining), εξόρυξης/λειοτριβήσης/εμπλουτισμού-μεταλλουργικής ή άλλης επεξεργασίας (Processing) και παραγωγής μετάλλου/υλικού (Refining). Επομένως, ένα Γεωπεριβαλλοντικό Μοντέλο παρέχει πληροφορίες/δεδομένα σχετικές(α) με φυσικές γεωχημικές μεταβολές/αλλαγές (αποσάθρωση/διάβρωση) (Erosion) που συνδέονται με έναν συγκεκριμένο τύπο κοιτάσματος, καθώς και γεωχημικές μεταβολές που συνδέονται με την υγρά ή στερεά λύματα/απορρίμματα της εξορυκτικής δραστηριότητας, και των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού και μεταλλουργικής ή άλλης επεξεργασίας(Processing, Refining) συμπεριλαμβανομένων και της καμίνευσης(ΚΥΚΛΟΣ 1). Τον ΚΥΚΛΟ 1 συμπληρώνει ο κύκλος ζωής των μετάλλων/υλικών /τελικού προϊόντος (ΚΥΚΛΟΣ 2): οι διεργασίες μετάβασης από το ένα στάδιο του ΚΥΚΛΟΥ 2 στο άλλο (Χρήση τελικού προϊόντος (Commodity use)— Διάθεση αποβλήτων (Disposal)—Ανακύκλωση (Recycling), προσδιορίζονται και ελέγχονται τόσο από μία ολιστική θεώρηση (μεταλλεία, παραγωγοί, τεχνολόγοι ανακύκλωσης, τεχνοκράτες, χρηματιστές, καταναλωτές, πολιτικοί) της διατήρησης της παγκόσμιας προσφοράς-και-ζήτησης σε μέταλλα κρίσιμων τεχνολογιών, όσο και ποσοτικοποίηση των ροών μετάβασης από το ένα στάδιο 2 στο άλλο (Minerals information, analysis, materials flow).

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Deposit Type

The classification of the deposit is the basis for comparisons of the factors that contribute to variations in potential environmental impact

Related Deposit Types

Mineral deposits are manifestations of parts of larger, complex geochemical systems. Thus, other parts of these complex systems may manifest themselves as different types of mineral deposits, which will probably behave differently in the environment and present different potential environmental problems.

‘Συστήματα Πορφυρικού Χαλκού (Cu)’ και ‘Κοιτάσματα Cu ±Au±Mo Πορφυρικού τύπου’

Συστήματα Πορφυρικού Cu {Porphyry Cu Systems}

ορίζονται σαν εκτεταμένοι όγκοι (10 – 100 km³) υδροθερμικά εξαλλοιωμένων πετρωμάτων που έχουν στο κέντρο

Κοιτάσματα Cu ±Au±Mo Πορφυρικού τύπου {Porphyry Cu ± Au ± Mo deposits}

Τα πετρώματα αυτά μπορεί ακόμη να περιέχουν κοιτάσματα βασικών και πολυτίμων μετάλλων:

- ❑ τύπου Σκαρν (skarn)
- ❑ Συμπαγών Θειούχων Μεταλλευμάτων από αντικατάσταση ανθρακικών πετρωμάτων (carbonate-replacement / chimney-manto)
- ❑ διάσπαρτα μεταλλικά κοιτάσματα που φιλοξενούνται σε Ιζήματα (sediment-hosted)
- ❑ κοιτάσματα Επιθερμικού τύπου κατηγορίας Υψηλής και Ενδιάμεσης Θείωσης (Σουλφιδίωσης) (high- and intermediate-sulfidation epithermal)

‘Ανατομία’ ενός τηλεσκοπικού Συστήματος Πορφυρικού Χαλκού

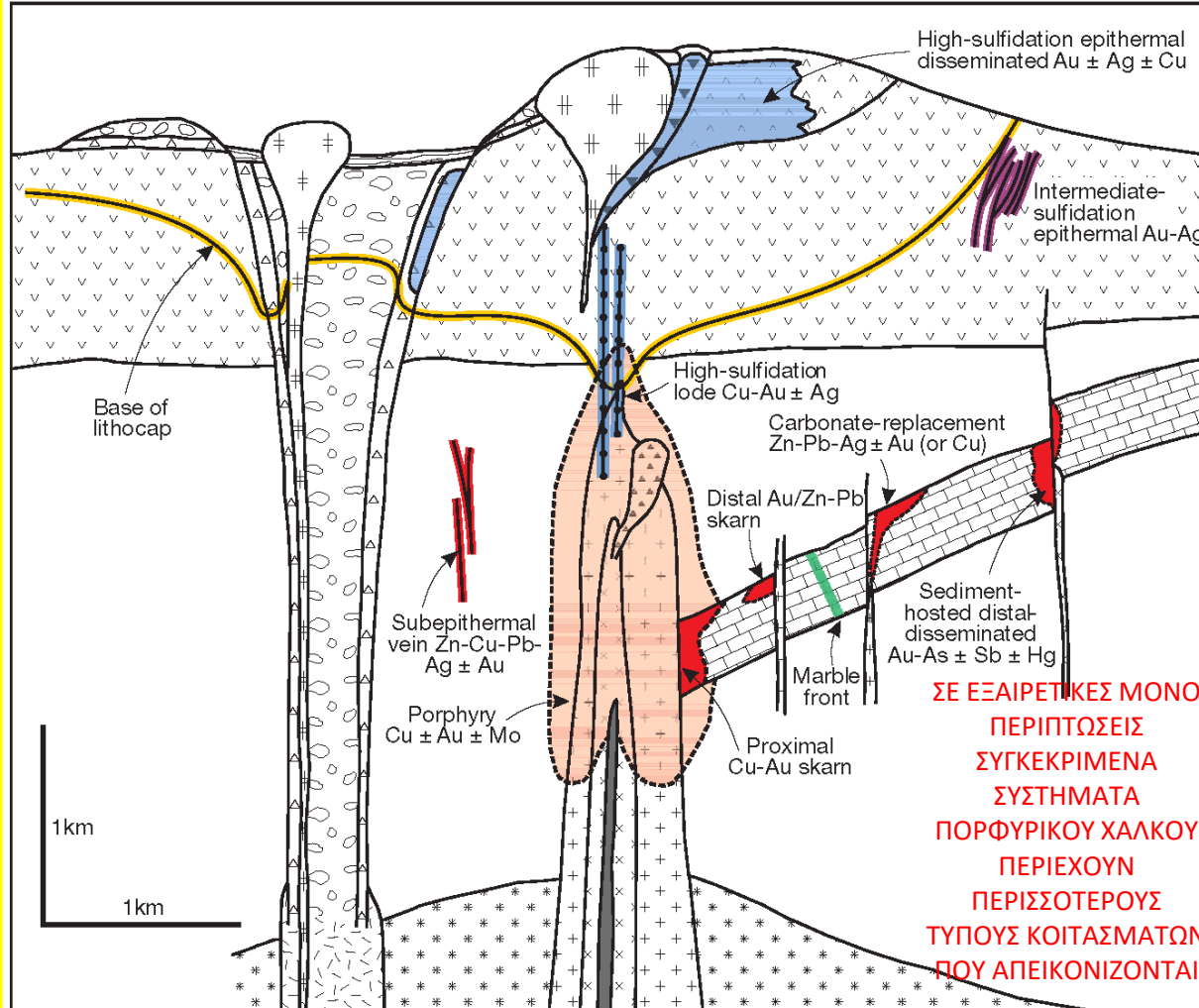
Χωρική σχέση ενός κεντρικά τοποθετημένου Κοιτάσματος $Cu \pm Au \pm Mo$ Πορφυρικού Τύπου {**Porphyry $Cu \pm Au \pm Mo$** }

που φιλοξενείται από σύνθετο μαγματικό πορφυριτικό σώμα {**PORPHYRY STOCK**}, και γειτονικά πετρώματα, ΜΕ:

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ - (1) Κοιτάσματα τύπου Σκαρν (Skarn) (‘Μακρινά/Distal’ και ‘Εγγύτατα/Proximal’), **(2)** Κοιτάσματα συμπαγών θειούχων μεταλλευμάτων από αντικατάσταση ανθρακικών πετρωμάτων {carbonate-replacement(manto)}, **(3)** ‘Μακρινά’ διάσπαρτα κοιτάσματα σε ιζήματα {sediment-hosted(distal-disseminated)}, [ΠΡΟΣΟΧΗ: (1), (2), και (3) φιλοξενούνται από ανθρακικές λιθολογίες], κ **(4)** (Υπο)Επιθερμικές (subepithermal) φλέβες σε μη ανθρακικά πετρώματα, και,

ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ - (5) Κοιτάσματα Επιθερμικού τύπου, κατηγορίας Υψηλής και Ενδιάμεσης Θείωσης που φιλοξενούνται μέσα στο, και πλευρικά από το, περιβάλλον του Καλύμματος Προχωρημένης Αργιλικής {ΚΠΑΕ} Εξαλλοίωσης(Lithocap).

Λεζάντα: χρονική αλληλουχία σχηματισμού των διαφόρων τύπων πετρωμάτων. Το πορφυριτικό σώμα είναι παλαιότερο του MAAR DIATREME COMPLEX(βλ. ΟΡΙΣΜΟΙ), το οποίο επικαλύπτει την ανάπτυξη του ΚΠΑΕ και του Φρεατομαγματικού Λατυποπαγούς



ΣΕ ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΜΟΝΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΡΦΥΡΙΚΟΥ ΧΑΛΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ

PORPHYRY STOCK		Late-mineral porphyry	LITHOCAP		Phreatic breccia
		Intermineral magmatic-hydrothermal breccia			Dacite porphyry plug-dome
		Intermineral porphyry	MAAR-DIATREME COMPLEX		Lacustrine sediment
	Early porphyry			Late phreatomagmatic breccia	
PRECURSOR PLUTON		Equigranular intrusive rock		Early phreatomagmatic breccia	
				Late-mineral porphyry	
HOST ROCKS		Dacite dome			
		Felsic tuff unit			
		Andesitic volcanic unit			
		Subvolcanic basement / carbonate horizon			

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

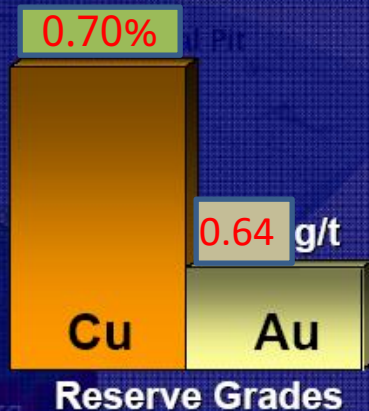
Deposit Size

The size of deposits can vary by several orders of magnitude. For seafloor massive sulfide deposits, a single deposit may lie within the watershed of a small perennial stream, whereas for porphyry copper deposits, a single deposit can span several watersheds

Ertsberg-Grasberg District, Papua, Indonesia

Cu-Au (\pm Mo)-rich **Porphyry and Skarn-hosted Cu system**

Αποτελεί μία απίστευτη
ανακάλυψη!
Αποθέματα
7.5 Gt (δισ. Τόνοι)
μεταλλεύματος, που θα
πάρει τουλάχιστον 50
χρόνια εκμετάλλευσης!



(Grading 0.70% Cu and 0.64 ppm Au)

Leys et al. (2012) Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 16, pp. 215-235

Grasberg Cu-Au Deposit, Papua, Indonesia

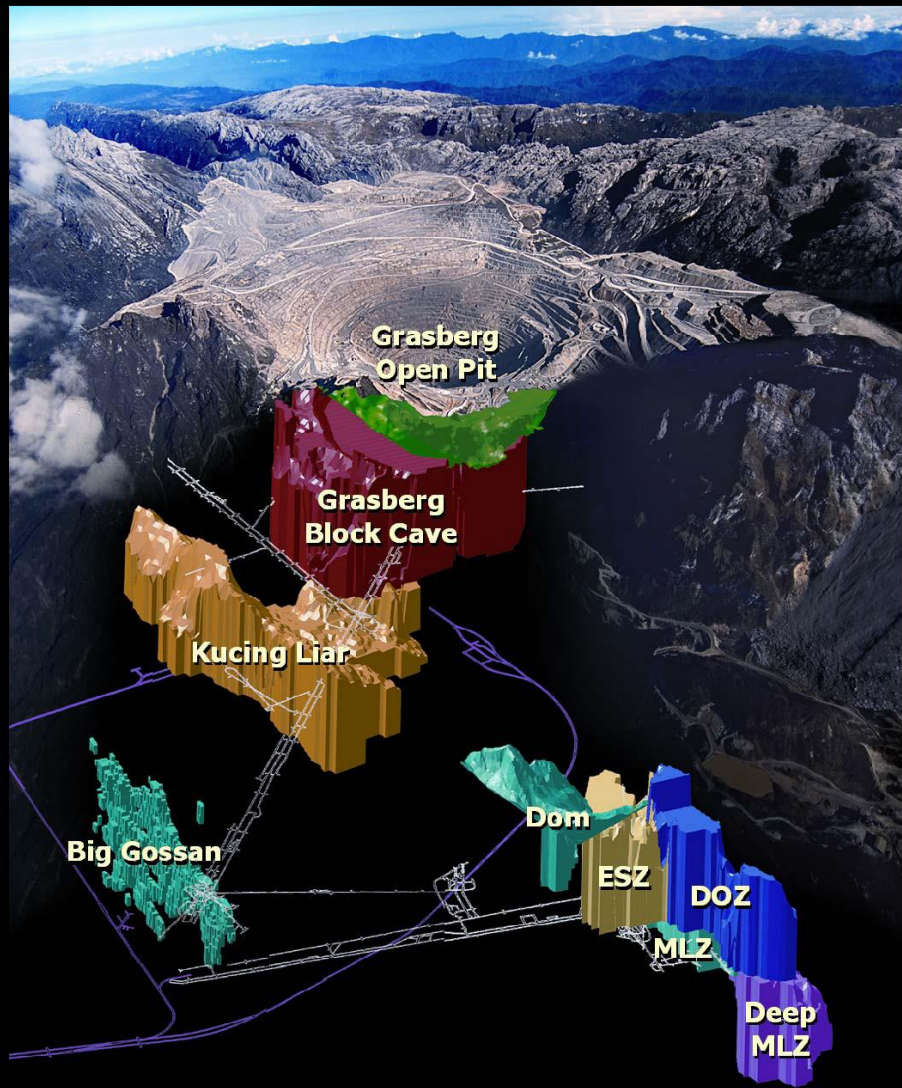


TABLE 1. Proven and Probable Reserves of Cu-Au Deposits
in the Ertzberg District¹

	Average ore grade			
	Ore (thousands of tonnes)	Cu (%)	Au (g/t)	Ag (g/t)
Grasberg pit	710,607	1.11	1.30	2.58
Grasberg block cave	873,792	1.00	0.76	2.82
Deep ore zone	155,243	0.92	0.63	4.98
Kucing Liar	498,989	1.30	1.18	5.61
Mill level zone	158,773	1.22	0.95	6.25
Ertzberg stockwork zone	121,714	0.49	0.90	1.65
Big Gossan	32,906	2.63	0.92	15.72
Dom block cave	43,651	1.09	0.31	5.91
Dom open pit	27,000	1.80	0.43	9.60
Total	2,796,102	1.09	0.97	3.84

¹From Freeport-McMoRan Copper and Gold Inc. annual report (2004)

Pollard et al (2005) ECON GEOL 100:1005-10020

□ Βεβαιωμένα και Πιθανά αποθέματα
κοιτασμάτων Cu-Au πορφυρικού τύπου στην
επαρχία Grasberg-Ertzberg

Bingham Cu-Au-Mo, Utah- το κλασικό μεταλλείο πορφυρικού Cu και η μεγαλύτερη “εκσκαφή” στη Γη



4 km πλάτος και 1 km βάθος.

Παραγωγή 2004, 45.7Mt μεταλλεύματος με
0.63% Cu, 0.033% Mo, 0.29 g/t Au and 3.04 g/t Ag

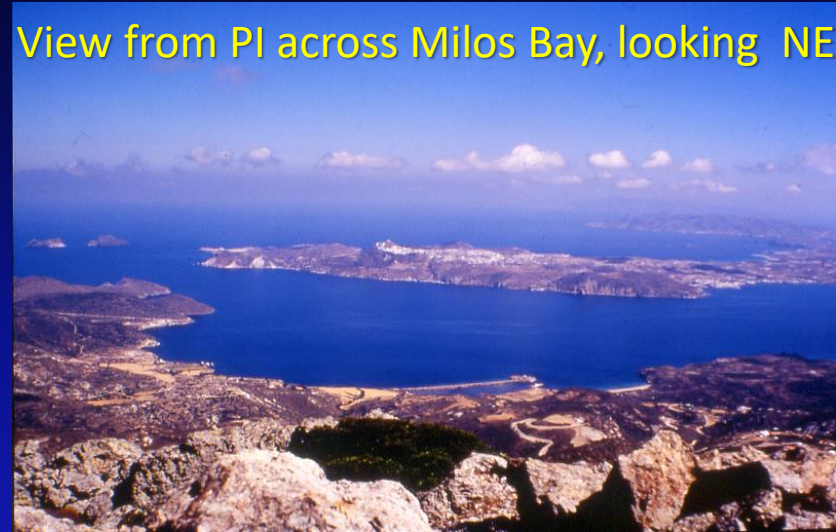


*Profitis Ilias - Chondro Vouno (PICV):
An “Aegean-arc-type” hybrid
Au-Ag(+Pb-Zn-Cu-Te) system*



PICV Au-Ag±polymetallic “Aegean arc”-type deposit

1.2 Mt at 1 g/t gold and 124 g/t silver
combined resource of 1.0 Moz gold and 12.4 Moz silver





Επιθερμικό Κοίτασμα Au-Ag Martha Hill, Waihi, New Zealand

➤ Η μεταλλοφορία φιλοξενείται αποκλειστικά από σχεδόν κατακόρυφες φλέβες που εκτείνονται πάνω από 500 μ κατακόρυφο διάστημα

1. Μη οξειδωμένος ανδεσίτης. 2. Ιγκνιμβρίτης (ignimbrite). 3. Τεταρτογενή. 4. Οξειδωμένος ανδεσίτης. 5. Ηφαιστειακή τέφρα (Volcanic ash). 6. Χρυσοφόρο μετάλλευμα Martha. 7. Χρυσοφόρο μετάλλευμα Welcome. 8. Περίγραμμα επιφανειακής εκμετάλλευσης. 9. Ανδεσίτης προφυλιτωμένος



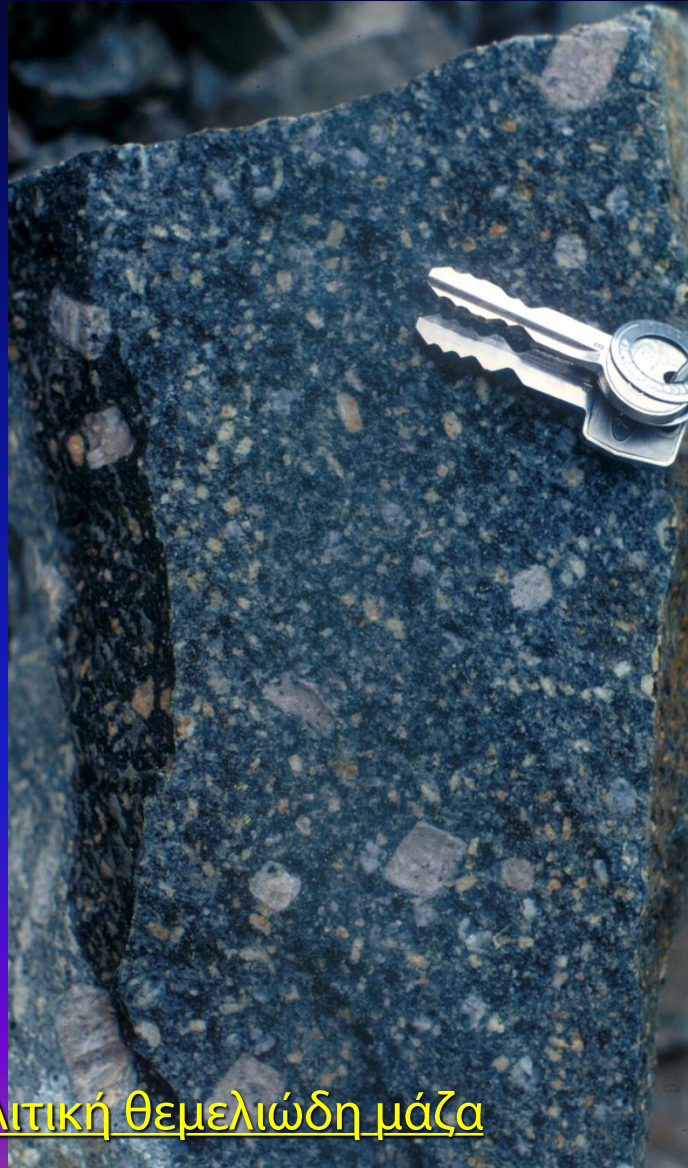
ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Host Rocks

The mineralogy and geochemistry of the host rocks are especially important in terms of the acid-generating or acid-neutralizing potential of a mineable rock package

Host Rocks

που φιλοξενούν “Κοιτάσματα $Cu \pm Au \pm Mo$ Πορφυρικού τύπου”



πορφυριτικός ιστός και απλιτική θεμελιώδη μάζα

Host Rocks

που φιλοξενούν “Συμπαγή θειούχα μεταλλεύματα στον θαλάσσιο πυθμένα τύπου Κύπρου”

Pillow λάβες βασαλτικής σύστασης



Host Rocks

που φιλοξενούν “Συμπαγή θειούχα μεταλλεύματα από αντικατάσταση ανθρακικών”



Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ. Αποσάθρωση μεταλλικών κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ.

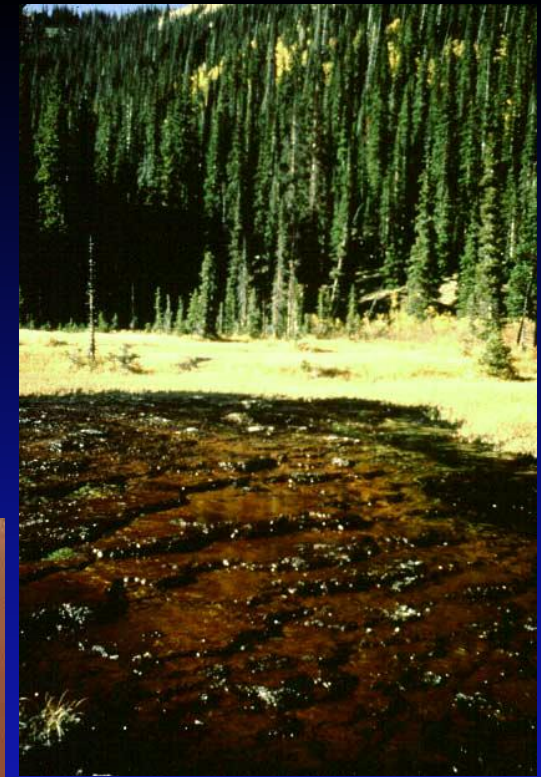
- Αποσάθρωση των ορυκτών σε μεταλλικά κοιτάσματα Ο.Π.Υ. έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση μετάλλων στο περιβάλλον

- π.χ. Φυσική οξύτητα και (ή) πλούσια σε μέταλλα απορροή

- Η εξόρυξη, εμπλουτισμός και μεταλλουργική επεξεργασία επιταχύνουν ή ενισχύουν αυτές τις διεργασίες αποσάθωσης

- Ουδέτερη έως όξινη απορροή μεταλλείου, εξορυκτικά απορρίμματα

Φυσική όξινη πηγή που αποστραγγίζει μεταλλοφόρα περιοχή που ΔΕΝ έχει υποστεί εκμετάλλευση



Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ.

Όξινη απορροή μεταλλεύου (Acid mine drainage-AMD)

When pyrite (iron sulfide) comes in contact with oxygen in air or water, it “oxidizes” and turns into rusty iron oxides and sulfuric acid. Certain bacteria make this process go faster.

Metal Sulfide + Water + Oxygen => Acid + Metal



(not stoichiometrically balanced)

- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από:
 - Οξύτητα (Acidity)
 - Μέταλλα σε διάλυση (σε όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα)
 - Αλμυρότητα (Salinity)
 - Αποθέσεις Ιλύος (Sludge)

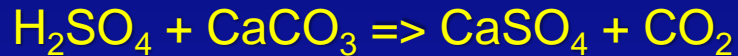
AMD

Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ. Ορυκτά που εξουδετερώνουν οξέα

- Τα ανθρακικά ορυκτά και ορισμένα άλλα ορυκτά (ορισμένα πυριτικά, ηφαιστειακό γυαλί) σε κοιτάσματα Ο.Π.Υ., τα πετρώματα-ξενοιστές, και πετρώματα λεκανών απορροής

Αντιδρούν με, και καταναλώνουν οξέα που δημιουργούνται από οξείδωση θειούχων ορυκτών και μπορούν ακόμη να δημιουργήσουν αλκαλικότητα σε υπόγεια και επιφανειακά ύδατα αυξάνοντας έτσι την ικανότητα των νερών για εξουδετέρωση οξέων

Acid + Alkali => "Salt" + Carbon Dioxide



Ασβεστόλιθος

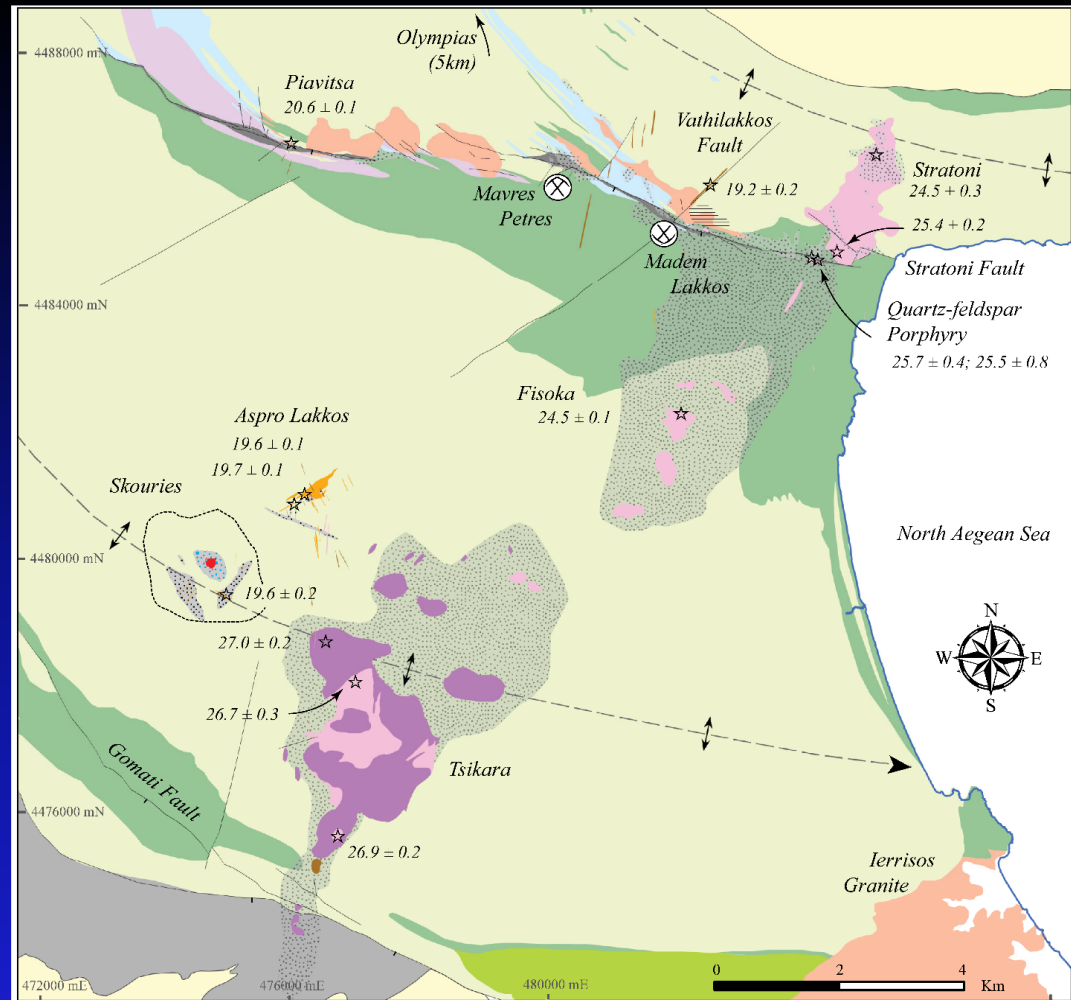
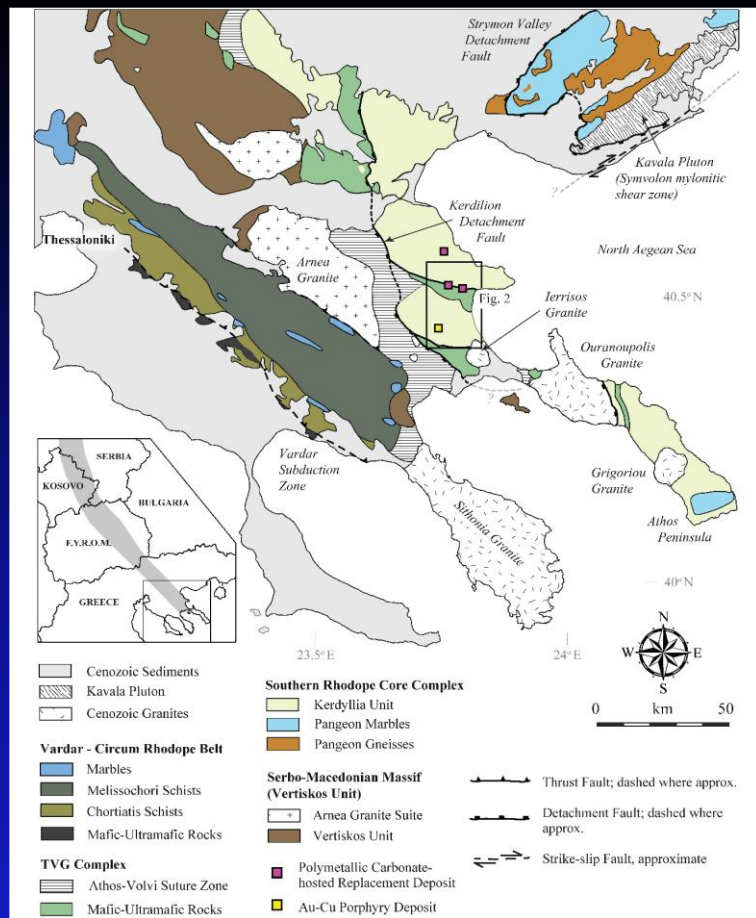


Ασβεστίτης(CaCO₃)

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Surrounding Geologic Terrane

Mineral deposits form in specific geologic settings, which have certain predictable geochemical attributes. Thus, even though the immediate host rocks of a deposit are devoid of carbonate rocks, the larger scale package of rocks can contain significant amounts of carbonate, which can serve to increase the alkalinity and hardness of watersheds (υδροκρίτης) receiving acid drainage from these types of deposits



THE KASSANDRA MINING DISTRICT, CHALKIDIKI PENINSULA, NORTHERN GREECE

Metamorphic Basement Rocks

- Quartz-feldspar granite gneiss
- Plagioclase-microcline gneiss
- Amphibolite, metagabbro, pyroxenite with serpentinized peridotite and dunite (TVG complex)
- Quartz-feldspar-biotite gneiss
- Marble, locally graphitic
- Graphite-bearing quartz-biotite gneiss
- Leucocratic augen gneiss (Vertiskos?)

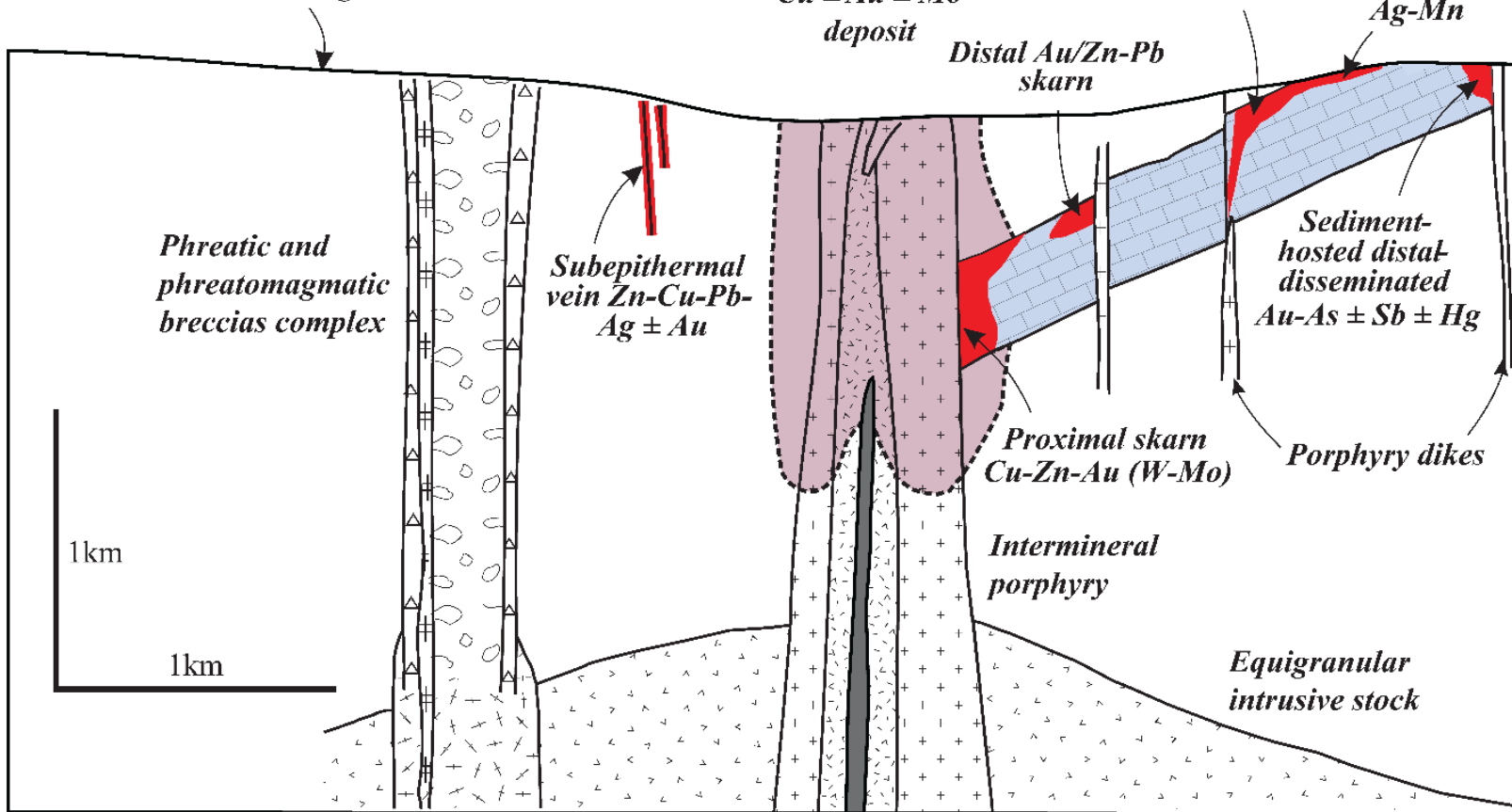
Oligo-Miocene Intrusive Rocks

- Quartz monzonite porphyry
 - Glomerophytic porphyry dikes
 - Quartz monzonite porphyry (Skouries)
 - Granodiorite/granodiorite porphyry
 - Monzogabbro and monzodiorite
- ### Alteration
- Quartz-sericite-pyrite (QSP)
 - Amphibole-magnetite-biotite (Skouries)
 - Wolastonite-tremolite-epidote (skarn)

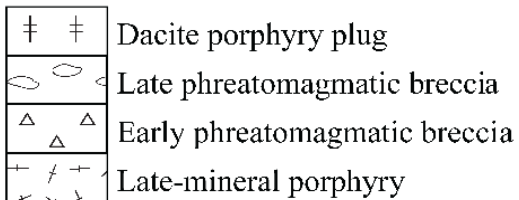
Map Symbolology

- Normal fault with dip and damage zone, dashed where approx.
- Antiform with plunge direction (approx.)
- Fault
- Zircon U-Pb sample location
- Active Mine
- Closed Mine
- Demagnetization (pyritic) halo at Skouries defined by unpub. aero-magnetic data

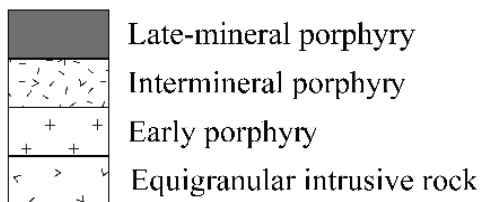
Approximate level of erosion
in the Cassandra Mining District



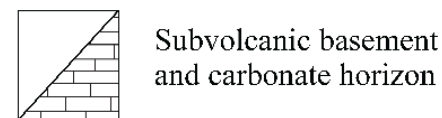
MAAR-DIATREME
COMPLEX



PORPHYRY
STOCK



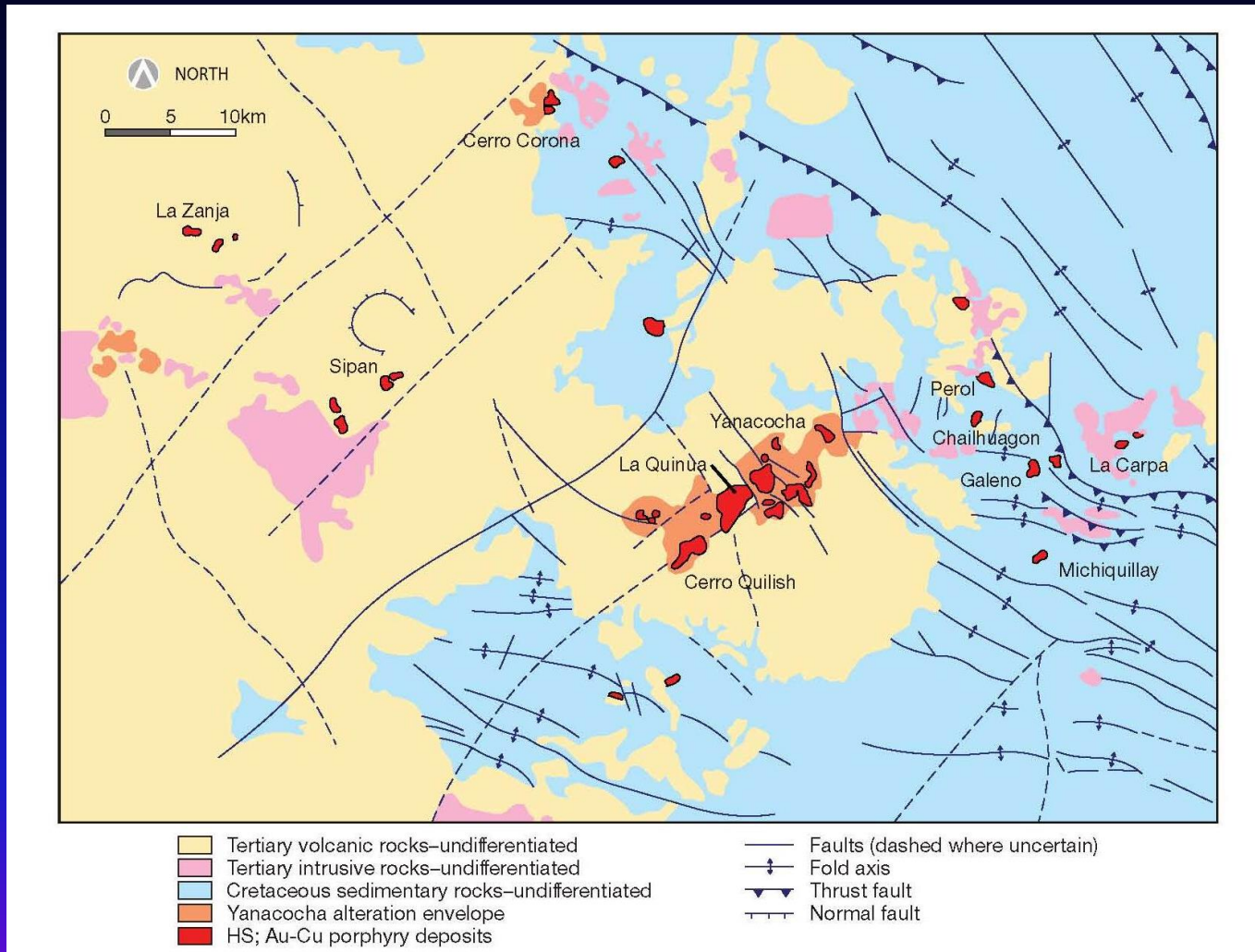
HOST
ROCKS



ORE DEPOSITS



The structural setting of the deposit can greatly influence the distribution of fractures and associated permeability



Yanacocha regional geologic setting along northeast-trending Yanacocha-Chicama **trans-arc break**. Deposit footprints are shown to scale (red) within alteration envelope (red hatched pattern). Note that the west-northwest to east-west deflection of fold axes in Cretaceous sedimentary basement rocks is interpreted as a regional manifestation of **this trans-arc structure**. Deposit footprints of the Andean parallel northern Peru porphyry belt: Cerro Corona–Perol–Chaulhuagon–La Carpa–Galeno–Michiquillay shown in the northeast quadrant of the map. Also shown are smaller high sulfidation-type gold deposits, including Sipan and La Zanja..

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Wall-Rock Hydrothermal Alteration

Wall-rock alteration typically changes the chemistry of the host rock for a significant distance away from the ore zones. Alteration may increase the acid-neutralizing capacity of a rock by introducing carbonate minerals, or it can decrease the acid-neutralizing capacity of a rock by transforming feldspars into clay minerals.

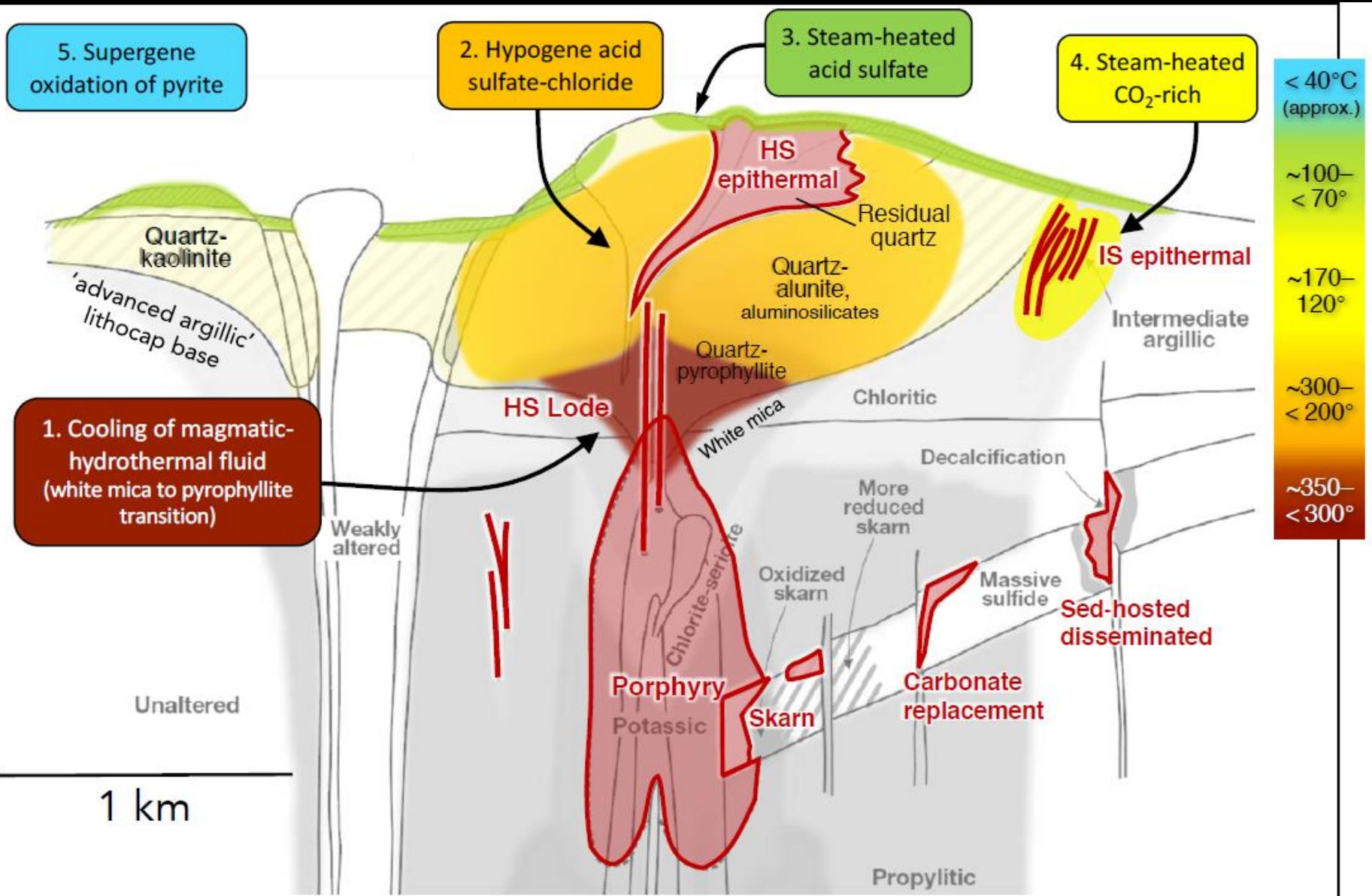
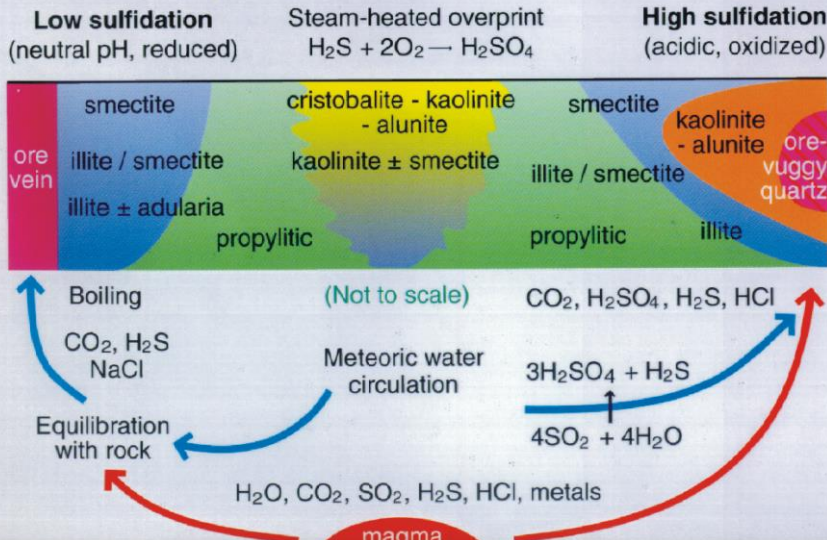


Fig. 1. Schematic porphyry Cu system showing associated ore deposit types (modified from Sillitoe, 2010). The five formation environments of hydrolytic alteration discussed in the text are noted (color coded for later figures), with indicative temperature range. HS = high sulfidation, IS = intermediate sulfidation.

Σχηματική κατανομή υδροθερμικών εξαλλοιώσεων

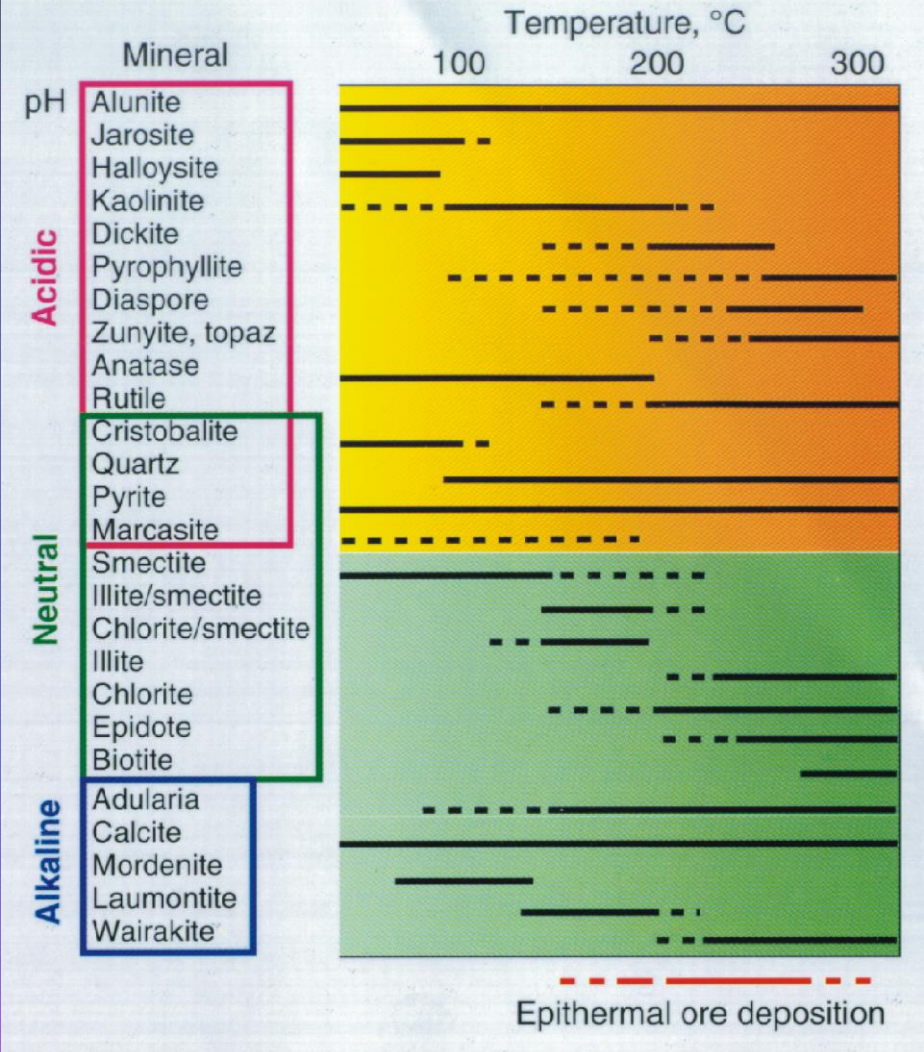


Alteration:

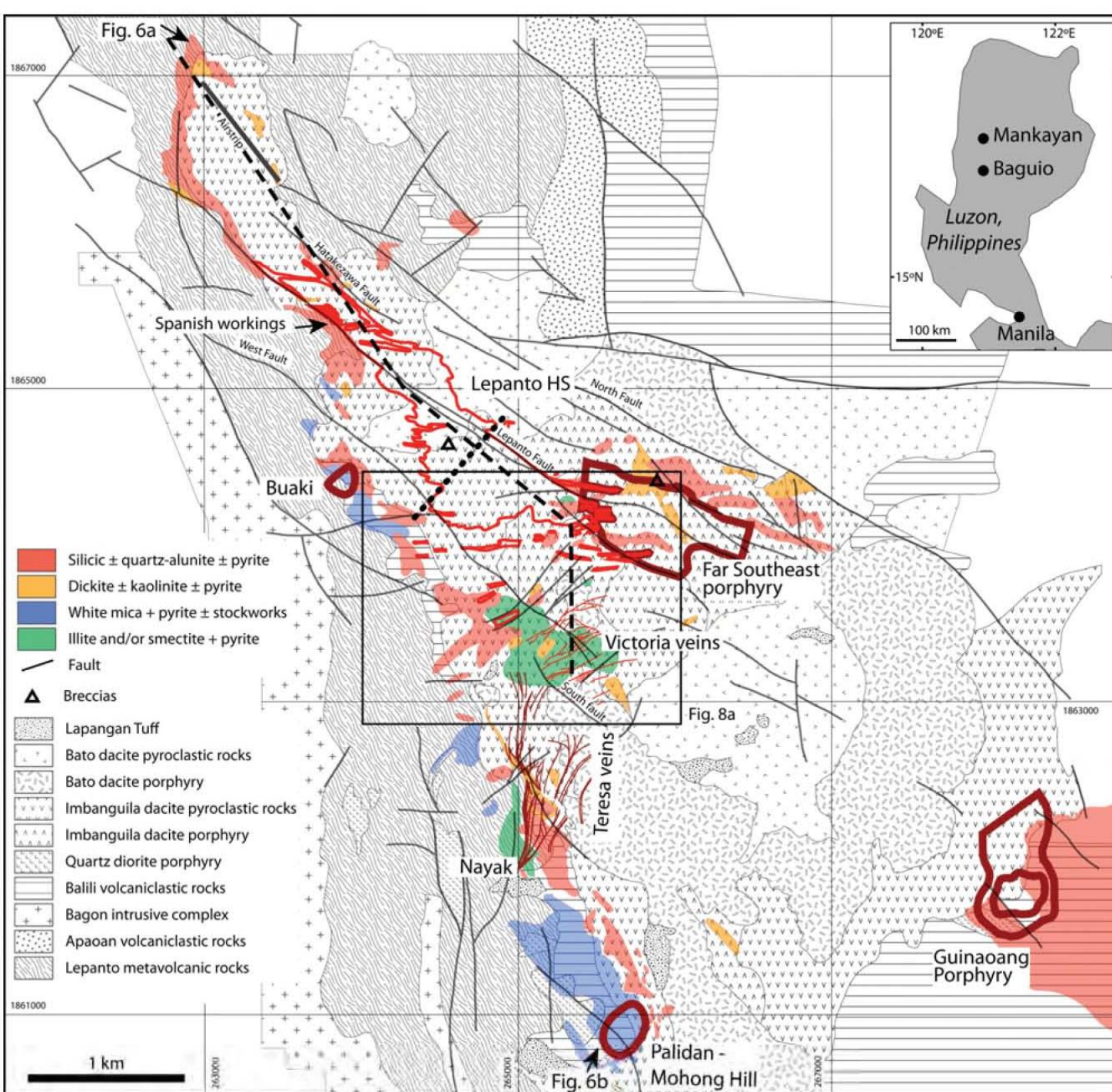
Advanced argillic (low T) (cristobalite, kaolinite, alunite)	Yellow
Advanced argillic (high T) (quartz, dickite, pyrophyllite, alunite)	Orange
Quartz-sericite (quartz, illite, pyrite)	Pink
Silicification and residual silica (quartz, rutile or anatase)	Red
Argillic (low T) - smectite (cristobalite, smectite, kaolinite)	Light Blue
Argillic (high T) - illite (quartz, illite, illite/smectite)	Blue
Propylitic (low T) - smectite (smectite, igneous plagioclase)	Light Green
Propylitic (high T) - chlorite (albite, chlorite, epidote, calcite)	Green
Ore	Red hatched

Note: Rock and alteration [40] types are necessarily simplified; see original references for details.

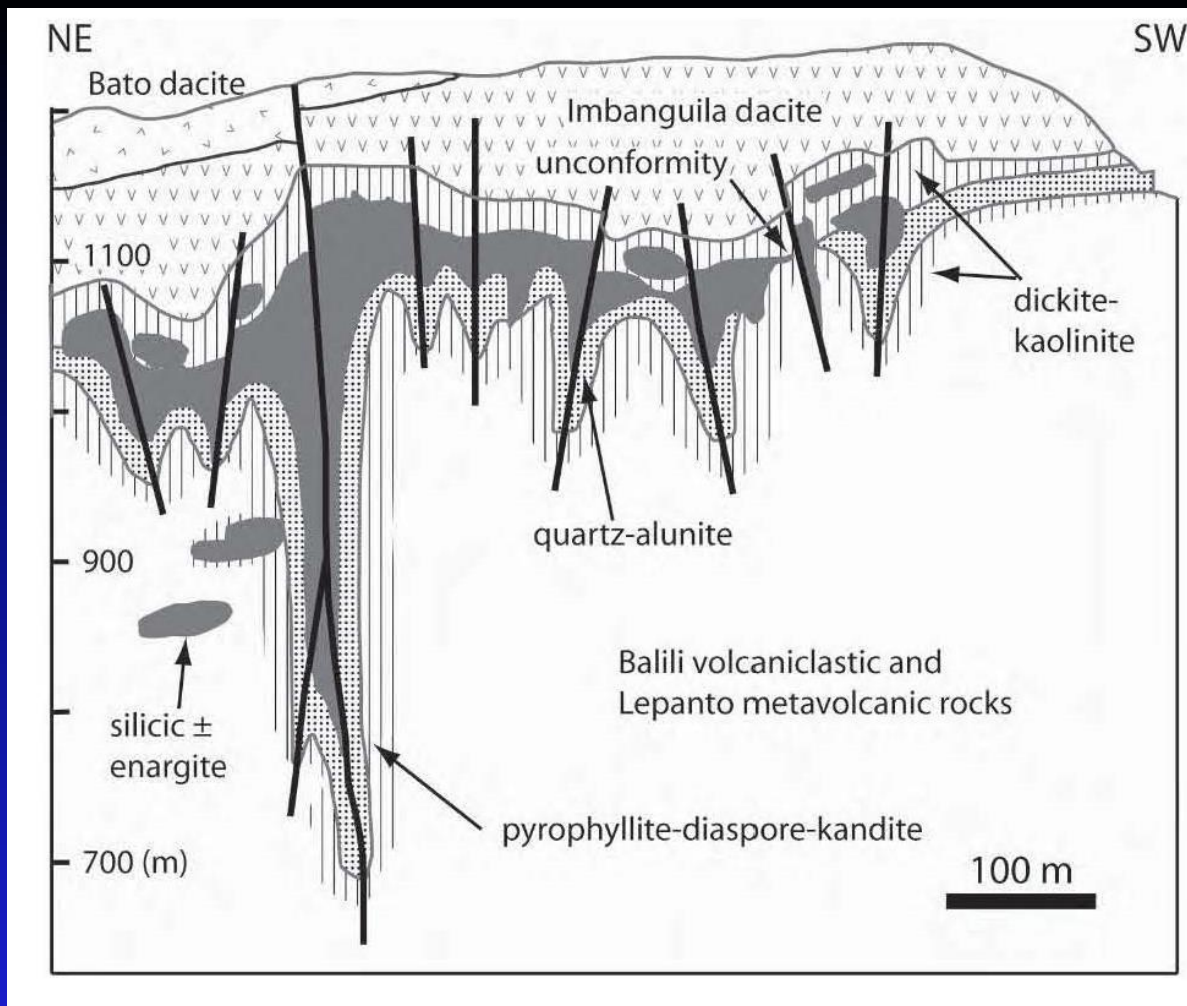
Θερμοκρασίες και pH σταθερότητας υδροθερμικών ορυκτών



Τα ορυκτά διευθετούνται από την σταθερότητα τους σε σχέση με την μεταβλητότητα του pH



Geologic map of the Mankayan district. The alteration mineral zones shown are for surface outcrops. Position of the Lepanto high sulfidation deposit (red outline), Far Southeast porphyry mineralization (brown), Victoria-Teresa ore veins (thin red and brown lines), Guinaoang, Buaki, and Palidan porphyry mineralization (brown outlines) are surface projections of largely underground orebodies (the barren core of Guinaoang is shown). There is only one area of enargite-luzonite Au mineralization that crops out along the Lepanto fault trace: the Spanish workings. Dashed line shows the positions of schematic long section (Fig. 3) and the dotted line shows the position of cross section through the Lepanto orebody and lithocap (Fig. 4); locations of Figures 6a, b, and 8a are also shown.



Cross section through the Lepanto fault (location shown in Fig. 1), illustrating the mushroom nature of the silicic and advanced argillic altered zones at the unconformity between the basement and Imbanguila units (modified from Gonzalez, 1956; Garcia, 1991). The main orebody constitutes ~70 percent of the Lepanto enargite Au ore and is hosted by the Lepanto fault. The rest of the mined ore was from strata-bound bodies located at the unconformity, as well as above and below this contact and in subsidiary east-west structures, adjacent to the Lepanto fault (Garcia, 1991). Where the unconformity is intersected by erosion to the southwest, approximately parallel to the trace of the Lepanto fault, the quartz-alunite alteration zone is exposed (Fig. 1), commonly forming cliffs (e.g., shown here to the southwest of the Lepanto fault). Over and beneath the quartz-alunite zone, the alteration is characteristically dickite ± kaolinite, e.g., where exposed at the northwest end of the airstrip (Fig. 6a).

Supergene Processes

Υπεργενετικές διεργασίες και χαρακτηριστικά Επιθερμικά συστήματα HS

Επιθερμικά συστήματα HS υπόκεινται σε υπεργενετική οξείδωση[



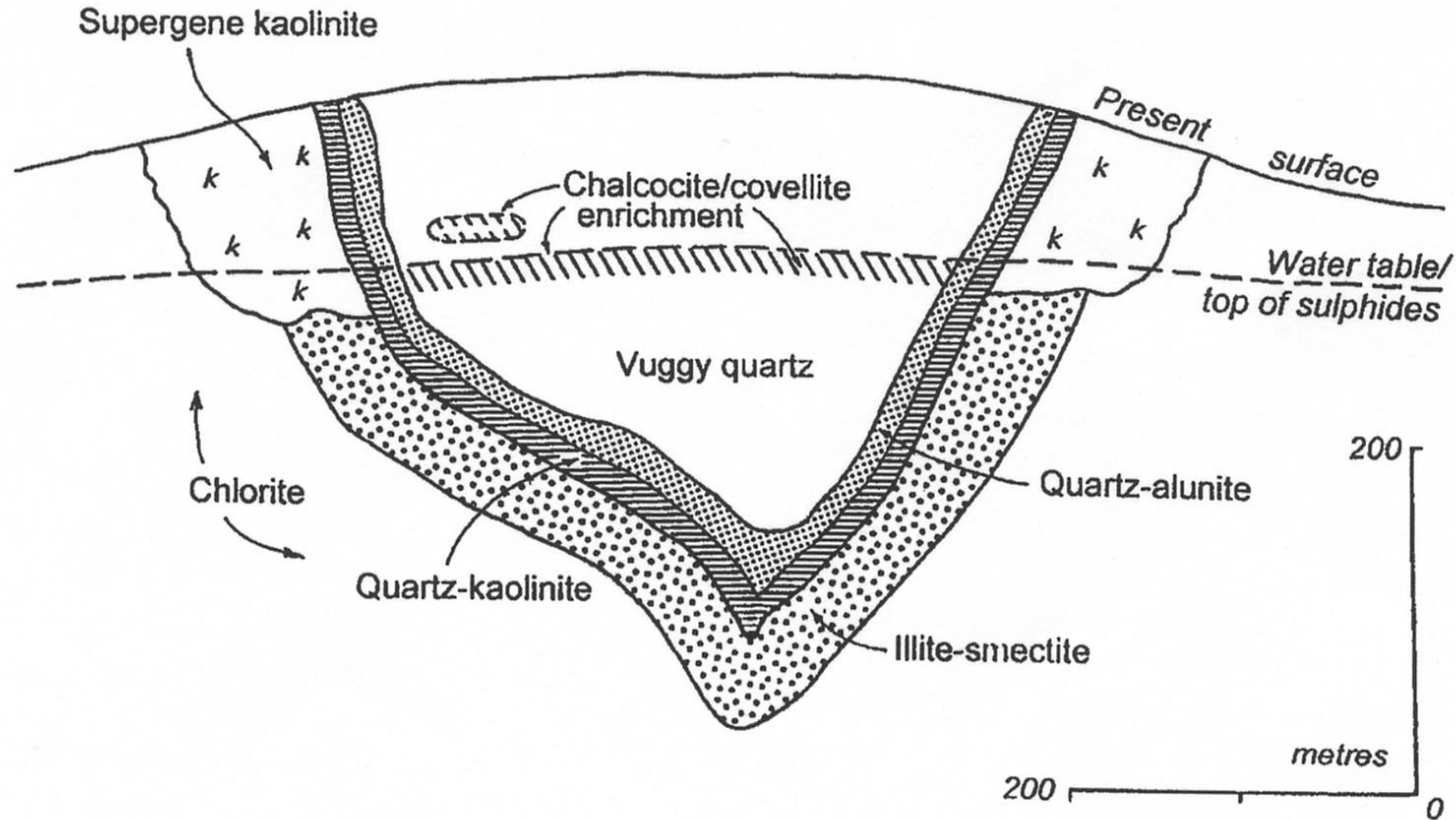
όπου το επιτρέπουν οι κλιματικές και γεωμορφολογικές συνθήκες. Σημαντικά υπεργενετικά προφίλ έχουν τα περισσότερα κοιτάσματα HS που βρίσκονται σε ξηρά και ημίξηρα /εύκρατα μέρη (Δ. ΗΠΑ, Ν. Ευρώπη) μέρη, ενώ τα κοιτάσματα που βρίσκονται σε υγρά/τροπικά μέρη (ΝΑ Ασία, Δ. Ειρηνικός) χαρακτηρίζονται μόνο από περιορισμένη υπεργενετική εξαλλοίωση.

Η υπεργενετική οξείδωση σουλφιδίων [Θειούχο ορυκτό + 2O₂ = Οξείδιο Fe + H₂SO₄ (T=30-40 °C)] σε επιθερμικά συστήματα HS ελέγχεται από την διαπερατότητα που οφείλεται σε υπολειμματικό σπογγώδη χαλαζία και σε υδροθερμικά λατυποπαγή, και διεισδύει σε βάθος που μπορεί να φτάνει τα 400 μ., τόσο στα HS όσο και στα LS κοιτάσματα . Οι τιμές του περιεχομένου σιδηροπυρίτη, καθώς και οι αναλογίες σιδηροπυρίτη/σουλφίδια του Cu, είναι συνήθως υψηλές(σε επιθερμικά κοιτάσματα HS) με αποτέλεσμα να δημιουργείται αρκετή ποσότητα υπεργενετικού οξέως το οποίο μπορεί να προκαλέσει σχεδόν συνολική απόπλυση του Cu από τις οξειδωμένες ζώνες, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των ανωτέρων τμημάτων της ζώνης των υποκειμένων μη οξειδωμένων σουλφιδίων σε υπεργενετικό χαλκοσίδη(Cu₂S)/κοβελλίδη(CuS)((ΕΠΟΜΕΝΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ)). Οι οξειδωμένες αυτές ζώνες χαρακτηρίζονται από **λειμωνίτες** [μείγμα από ένυδρα οξείδια του Fe(FeO(OH))] πλούσιους σε **ιαροσίτη** [KFe³⁺₃(SO₄)₂(OH)₆] και **αιματίτη**[Fe₂O₃]. Όπου υπάρχει άφθονος **εναργίτης** ή **λουζονίτης**, οι οξειδωμένες ζώνες χαρακτηρίζονται από **σκοροδίτη**[FeAsO₄ - 2H₂O] και άλλα αρσενίδια. Τα ορυκτά ΠΑΕ δεν εξαλλοιώνονται σε όξινες συνθήκες(είναι σταθερά) αλλά οι ζώνες αργλικής εξαλλοίωσης που περικλείουν τις ζώνες ΠΑΕ (ΕΠΟΜΕΝΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ) μετατρέπονται σε υπεργενετικό καολίνιτη (ΕΠΟΜΕΝΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ). Επομένως, στα υπεργενετικά προφίλ που αναπτύσσονται επάνω από ορισμένα κοιτάσματα HS, ζώνες υπεργενετικού και υπογενετικού καολίνιτη μπορεί να βρεθούν πλάι-πλάι. Η διάκριση των δεν είναι εύκολη, αν και οι ζώνες υπογενετικού καολίνιτη περιέχουν περισσότερο υδροθερμικό χαλαζία.

Η συνολική ποσότητα Au και Ag στις ζώνες υπεργενετικής οξείδωσης μπορεί να είναι αυξημένη (ΕΠΟΜΕΝΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ). Τα περισσότερα οξειδωμένα κοιτάσματα HS χαρακτηρίζονται από την έστω μικρή παρουσία υπεργενετικών χαλκοσίδη(Cu₂S)/κοβελλίδη(CuS) στα ανώτερα τμήματα των υποκειμένων ζωνών με μη εξαλλοιωμένα σουλφίδια(Εικ. 51). Οι υπεργενετικοί χαλκοσίδη/κοβελλίδη μοιάζουν γενικά με “σκόνη” και έχουν το χρώμα της αιθάλης, ενώ αντίθετα οι υπογενετικοί χαλκοσίδη/κοβελλίδη είναι συμπαγείς και κρυσταλλικοί.

Σχηματική τομή των ανωτέρων τμημάτων ενός κοιτάσματος HS που έχει υποστεί υπεργενετική οξείδωση/αποσάθρωση.

Η οξείδωση σουλφιδίων επάνω από το επίπεδο του υπόγειου νερού (Water table) είναι συνήθως ατελής, λόγω μεταβλητότητας στην διαπερατότητα, με αποτέλεσμα την παραμονή “μπαλωμάτων” σουλφιδίων στο αποπλυμένο κάλυμμα ή gossan. Το ανώτατο τμήμα της ζώνης των σουλφιδίων, και όποια εναπομείναντα σουλφίδια, υφίστανται εμπλουτισμό σε χαλκοσίνη/κοβελλίνη (Chalcocite/covellite enrichment) με Cu που απελευθερώνεται λόγω οξείδωσης των σουλφιδίων. Τα όξινα διαλύματα που δημιουργούνται κατά την οξείδωση των σουλφιδίων προκαλούν καολινιτίωση (Supergene kaolinite) των εξώτερων ζωνών εξαλλοίωσης ιλλίτη-σμεκτίτη (illite-smectite) και χλωρίτη (chlorite), ενώ η ζώνη ΠΑΕ παραμένει ορυκτολογικά ανέπαφη. Τελικό αποτέλεσμα είναι ότι στα αποσαθρωμένα τμήματα του συστήματος να έχουμε πλευρική μετάβαση από ζώνη υπογενή καολίνη σε ζώνη υπεργενετικό καολινίτη (Sillitoe 2000)



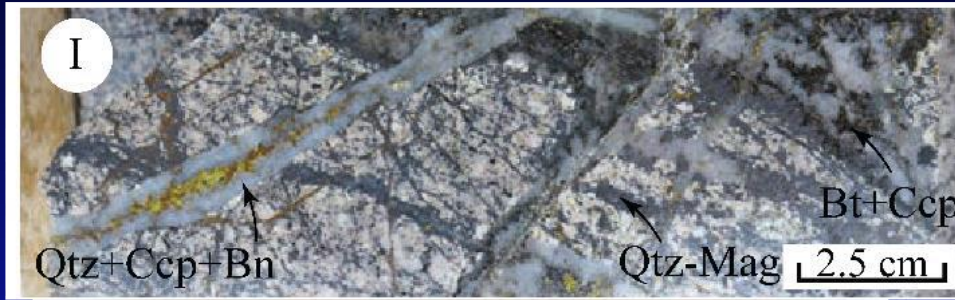
ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Nature of Ore

The nature of the ore affects the potential intensity of adverse environmental effects and the amenability to various mining methods.

At historic mines, the iron-sulfide wastes were discarded with little regard for potential environmental effects. In contrast, typically porphyry ores comprise just a few percent of total sulfide minerals. Also, the mineable tonnage of a typical porphyry deposit is at least an order of magnitude larger than a typical massive sulfide deposit, thus generating more waste material

The potential environmental behavior of a large tonnage porphyry copper deposit, which is characterized by disseminated sulfide minerals that average only a few percent of the rock, is obviously quite different from ore from massive sulfide deposits that typically comprises greater than 60 percent of the rock (pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and galena). The chalcopyrite, sphalerite, and galena are recovered for their economic value, but most of the pyrite ends up in waste piles

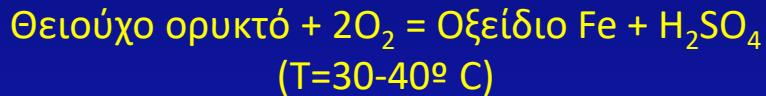


Συμπαγές μέταλλευμα θειούχων ZnS , PbS , $CuFeS_2$, FeS . Γυμνάσιο Πυρέων, Αιολοπούλη

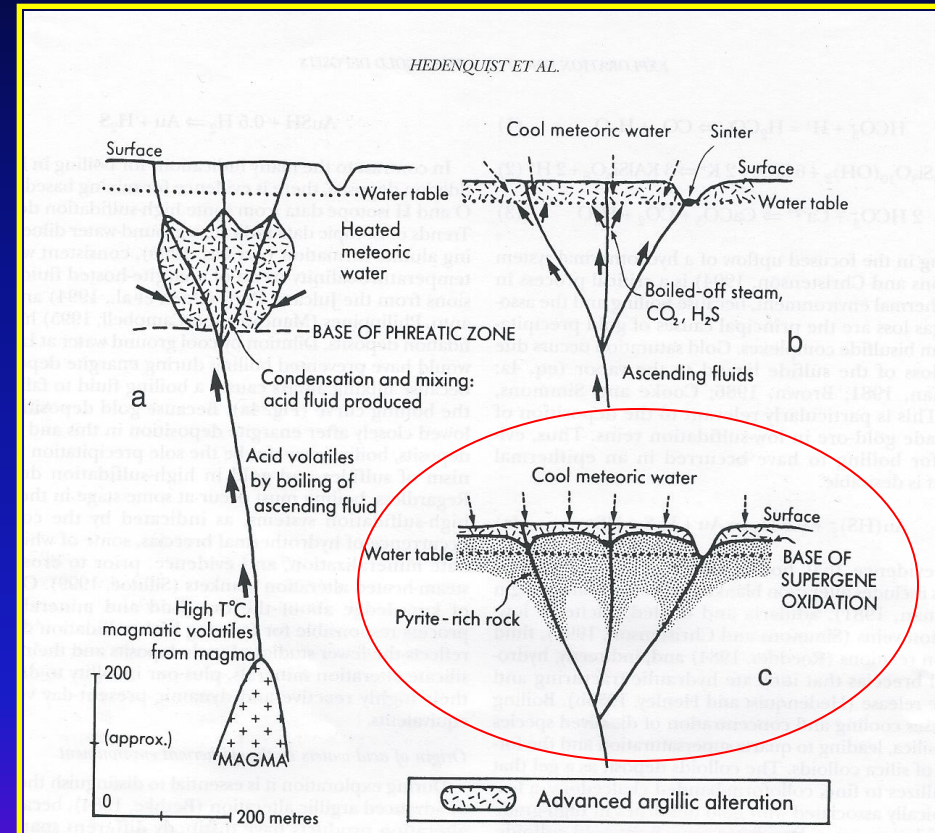


Δημιουργία οξύτητας στο επιθερμικό περιβάλλον και ΥΠΕΡΓΕΝΕΤΙΚΗ Προχωρημένη Αργιλική Εξαλλοίωση(ΠΑΕ) (Advanced argillic alteration)

- Υπεργενετική οξείδωση θειούχων ορυκτών μετά το τέλος της υδροθερμικής δράσης--- Σχηματίζει την ζώνη ΠΑΕ επάνω από κοιτάσματα HS και LS



- Αναπτύσσεται μόνον μέσα στη(και ελέγχεται από την θέση της) ζώνη(ς) του υπόγειου νερού – αργιλικά ορυκτά, καολίνης, αλλουσίτης, αλουνίτης, ιαροσίτης, οξειδια σιδήρου



Η ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Θεμελιώδη Χαρακτηριστικά του Επιθερμικού Περιβάλλοντος σχηματισμού κοιτασμάτων

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Mining and Ore Processing Methods

Mining and ore-processing methods are influenced by the geology of the deposit.

The hydrologic differences between underground and open pit mines are significant. Evaporative concentration is more prominent in open pit settings.

With regards to abandoned mines, historic evolution of ore beneficiation techniques can cause different “vintages” of mine wastes to be variably endowed in metals.

Flotation circuits and cyanide leach operations add exotic chemicals to mine wastes.

Historical use of mercury amalgamation to process gold ores is a major source of mercury contamination at abandoned mine sites.

Mining and ore-processing methods are influenced by the geology of the deposit

The hydrologic differences between underground and open pit mines are significant



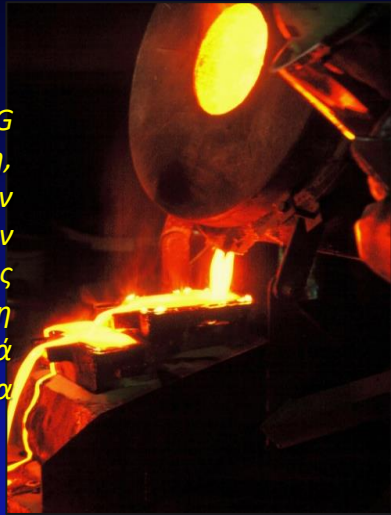
Υπογεία εκμετάλλευση



Επιφανειακή εκμετάλλευση

Τα κοιτάσματα (μεταλλικών) ορυκτών πρώτων υλών ιδιαίτερα όταν υποστούν εκμετάλλευση (ανάπτυξη μεταλλείου),αποτελούν δυνητικές πηγές μετάλλων στο περιβάλλον

Mining and ore-processing methods are influenced by the geology of the deposit



GOLD REFINING
Καμίνευση,
το λιώσιμο των μετάλλων
(τελικό προϊόν
επεξεργασίας
μεταλλεύματος) και η
διοχέτευση σε ειδικά
καλούπια



Flotation -- Επίπλευση

Gold Cyanide Leaching Tank For Gold Mining Plant



ο επιπλορισμός κατά την επίπλευση στηρίζεται στη διαφορά των επιφανειακών ιδιοτήτων - υδρόφιλο, υδρόφοβο - ανάμεσα στο μετάλλευμα (massive sulfide) και το στείρο, αλλά και σε άλλα πιο πολύπλοκα επιφανειακά φαινόμενα που διαμορφώνονται με τη χρήση χημικών αντιδραστηρίων

Τα κοιτάσματα (μεταλλικών) ορυκτών πρώτων υλών ιδιαίτερα όταν υποστούνκαι φυσική επεξεργασία (εργοστασιακός εμπλουτισμός και μεταλλουργική επεξεργασία),αποτελούν δυνητικές πηγές μετάλλων στο περιβάλλον

Flotation circuits and cyanide leach operations add exotic chemicals to mine wastes

Mining and ore-processing methods are influenced by the geology of the deposit



Τα κοιτάσματα (μεταλλικών) ορυκτών πρώτων υλών ιδιαίτερα όταν υποστούνκαι βιομηχανική επεξεργασία για την τροφοδοσία της βιομηχανίας με **τελικά προϊόντα επεξεργασίας (μέταλλα/υλικά/τελικό προϊόν)**, αποτελούν δυνητικές πηγές μετάλλων στο περιβάλλον

Historical use of Hg amalgamation to process Au ores is a major source of Hg contamination at abandoned mine sites

“(Βίο)γεωχημικός Κύκλος”
δυναμικά τοξικών στοιχείων και μετάλλων στο περιβάλλον: Ένα πολύπλοκο μείγμα γεωλογικών, γεωχημικών και βιολογικών διεργασιών

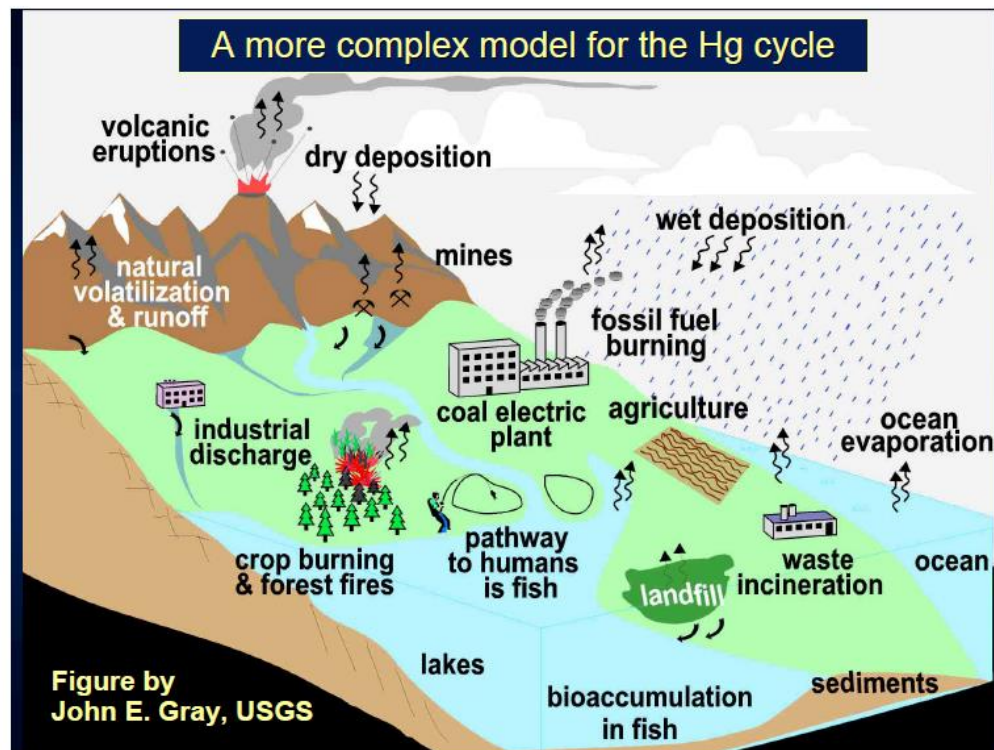


Figure by John E. Gray, USGS

Οι βιογεωχημικοί κύκλοι περιγράφουν μονοπάτια μέσω των οποίων χημικά στοιχεία και μέταλλα μετακινούνται δια μέσου βιολογικών (ΒΙΟΣΦΑΙΡΑ) και αβιοτικών (ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ, ΥΔΡΟΣΦΑΙΡΑ, ΓΕΩΣΦΑΙΡΑ) συστημάτων στη Γη. Οι (βιο)γεωχημικοί κύκλοι (και οι συνδεδεμένες ροές ενέργειας) αποκαθιστούν σχέσεις μεταξύ (οικο)συστημάτων σε τοπική, γενική και παγκόσμια κλίμακα. Σε αυτά τα (οικο)συστήματα που αποτελούν σύνολα εισροών-εκροών-πηγών-αποθέσεων, τα στοιχεία/μέταλλα μετακινούνται από το ένα τμήμα του συστήματος (π.χ. ωκεανός, έδαφος, ατμόσφαιρα, πέτρωμα) όπου το στοιχείο/μέταλλο μπορεί να συγκεντρωθεί παροδικά, σε κάποιο άλλο, εμπρός και πίσω μεταξύ οργανισμών, και από ζωντανούς οργανισμούς στο αβιοτικό περιβάλλον (ορυκτά, μεταλλεύματα, πετρώματα, έδαφος) και πάλι πίσω. ΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ/ΜΕΤΑΛΛΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΕΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΗΣ ΞΑΝΑ ΚΑΙ ΞΑΝΑ. Οι κύκλοι αυτοί λειτουργούν μέσω βιολογικών, γεωλογικών, και χημικών αντιδράσεων μεταξύ υγρών, αέριων και ορυκτών. Ανάμεσα στους πιο σημαντικούς οικολογικά κύκλους είναι εκείνοι του άνθρακα (C), αζώτου (N), οξυγόνου (O), φώσφορου (P), και θείου (S), σιδήρου (Fe) καθώς και του νερού (H₂O).

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Deposit Trace Element Geochemistry

Most deposits are exploited for just a few (or less) primary commodities, yet they can have numerous other potentially toxic elements present in subeconomic quantities.

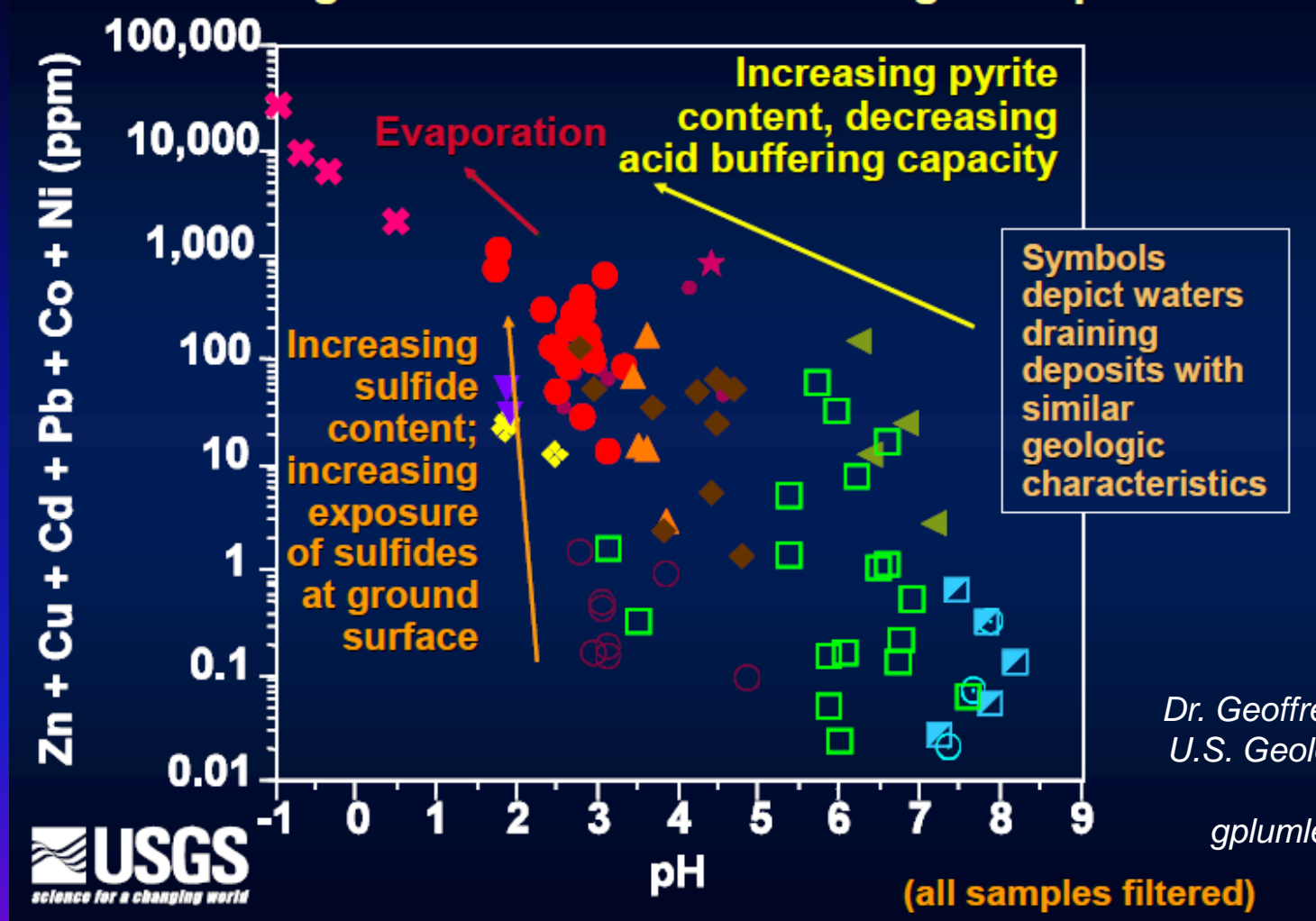
Cadmium is rarely recovered as primary commodity, even though is ubiquitously found substituting for zinc in sphalerite.

Similarly, arsenic is common in many deposit types as a solid solution in pyrite or as arsenopyrite. Both pyrite and arsenopyrite are typically discarded in waste.

Thus, knowledge of the trace element geochemistry of a deposit is essential for assessing all of the potential environmental impacts.

Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ. Γεωλογικός έλεγχος της σύστασης υδάτων αποστράγγισης μεταλλείου

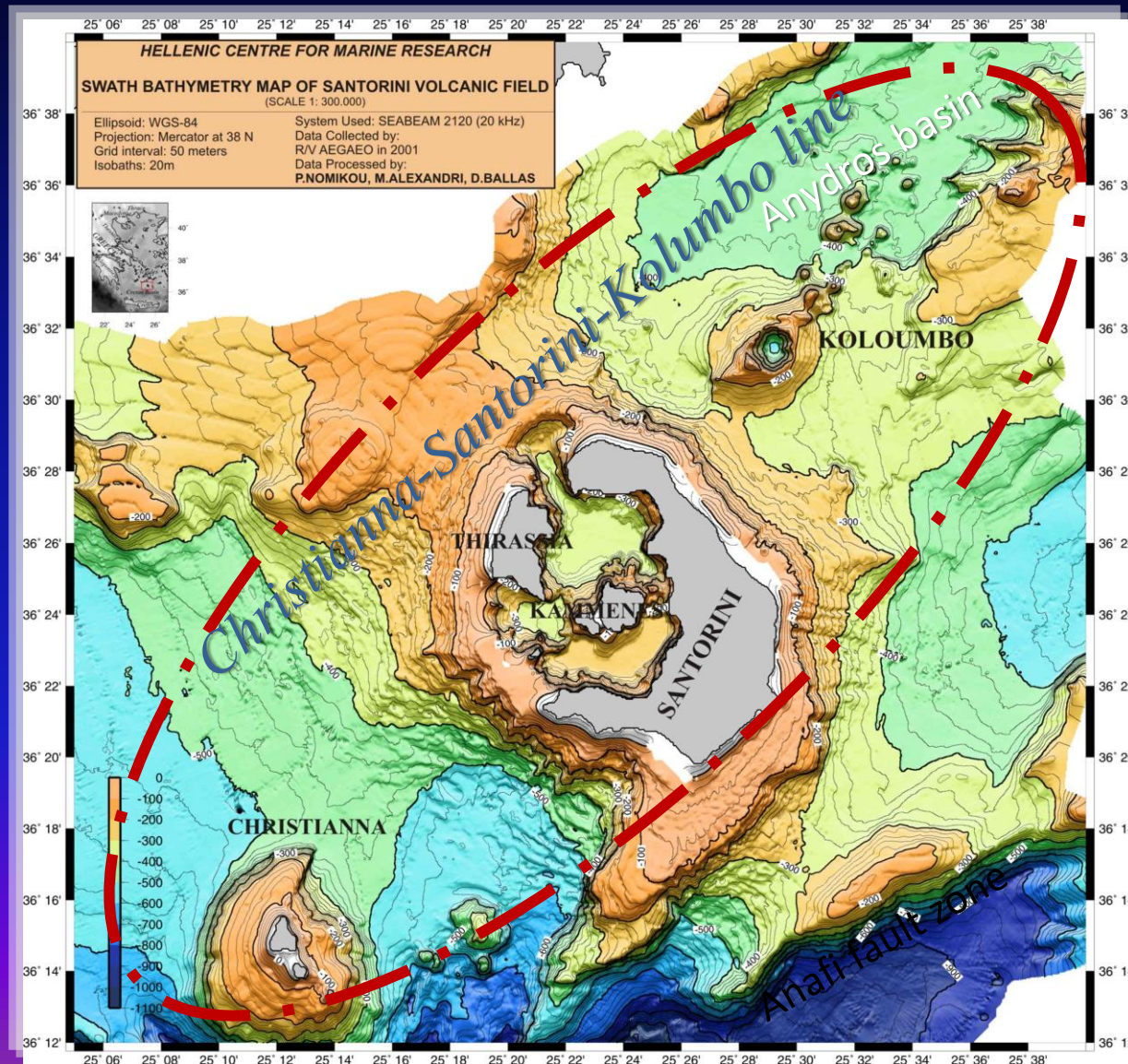
Geologic controls on mine-drainage composition



Διάγραμμα Ficklin που δείχνει συσχέτιση “συνόλου βασικών μετάλλων Zn, Cu, Cd, Pb, Co, and Ni” προς “pH” σε ύδατα μεταλλείων και φυσικά ύδατα που αποστραγγίζουν μεταλλικά κοιτάσματα που δεν έχουν υποστεί εκμετάλλευση. Τα σύμβολα απεικονίζουν ύδατα που αποστραγγίζουν κοιτάσματα με παρόμοια γεωλογικά χαρακτηριστικά.

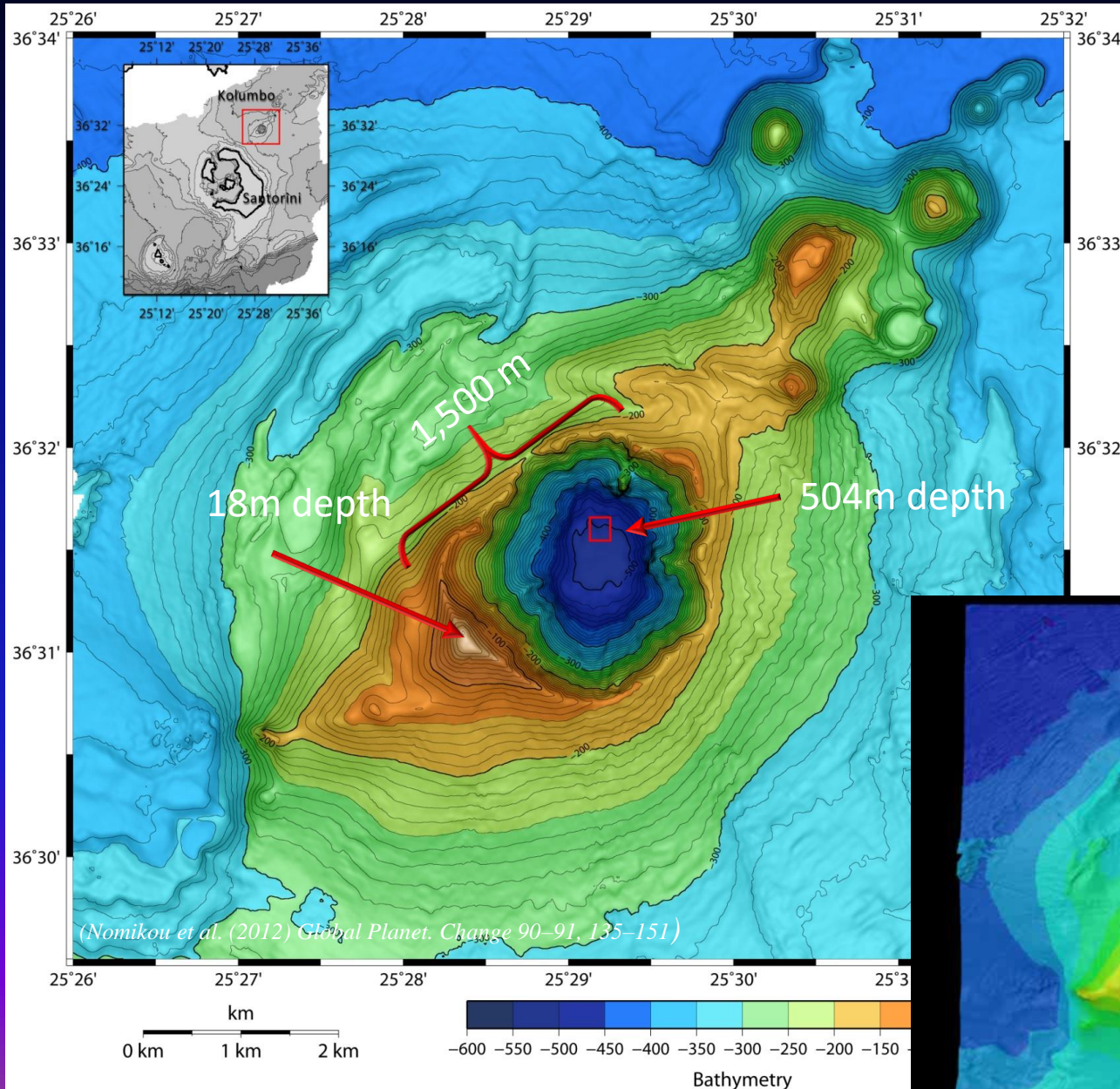
Santorini-Kolumbo marine volcanic group:

natural laboratory for volcanism and associated hydrothermal processes in an active magmatic arc

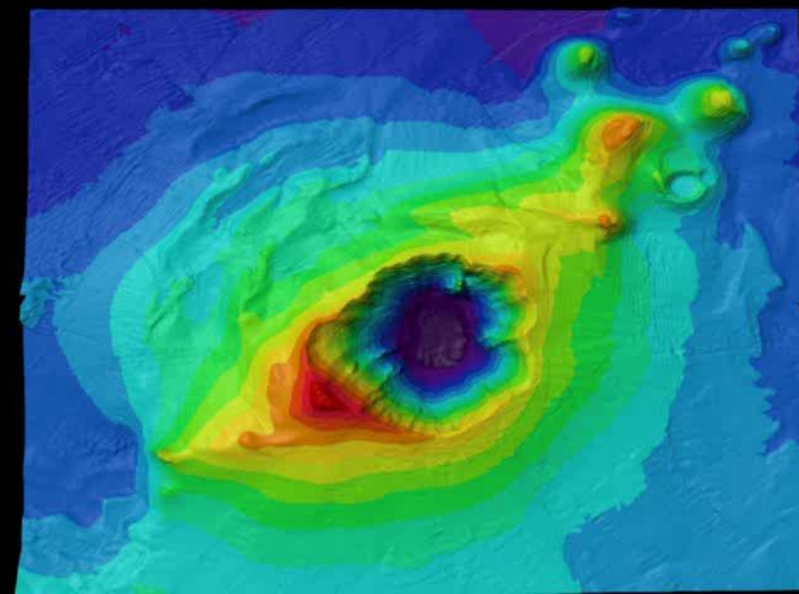


Hydrothermal vents and SMS in a shallow-depth arc volcano

The only known SMS deposits associated with continental margin volcanism

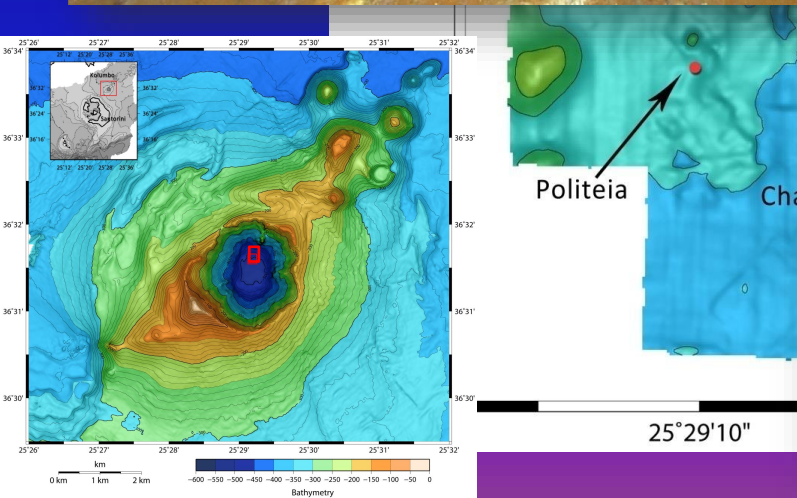
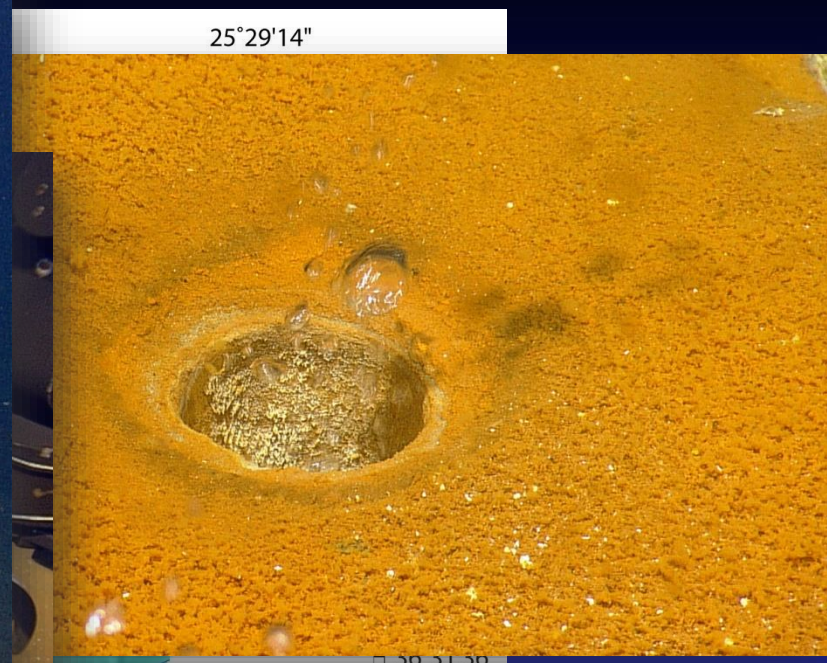


7 km NE of Santorini
3 km wide, with a 1.5
km diameter crater
formed during the
1650 AD eruption.
Active hydrothermal
vent sites and sea-floor
massive sulfides
(504 m depth)



Active Hydrothermal Vent Field

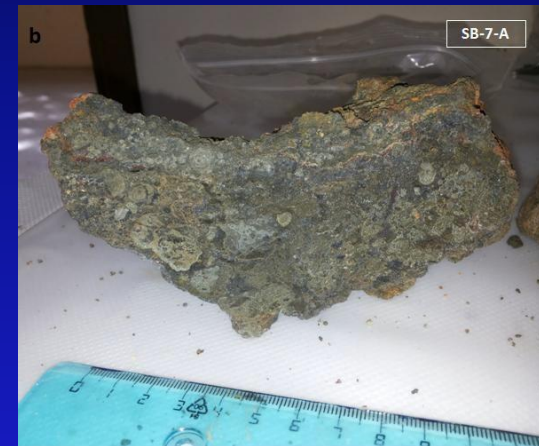
Sea-floor massive sulfide structures



Massive sulfide chimneys



© Hellenic Centre for Marine Research / SeaBioTech, All Rights Reserved - Photography: Thanos Dailianis

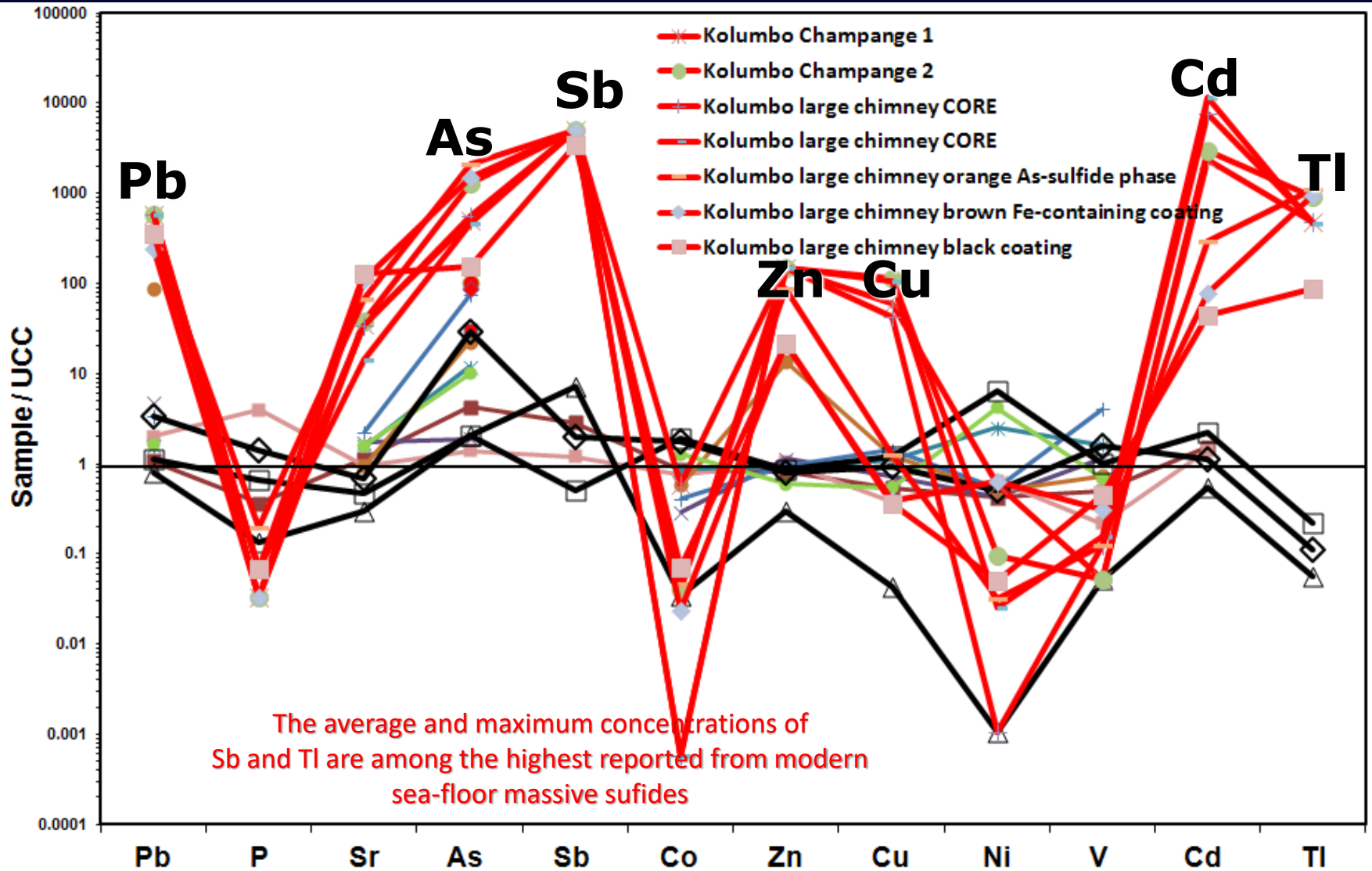


© Hellenic Centre for Marine Research / SeaBioTech, All Rights Reserved - Photography: Thanos Dailianis

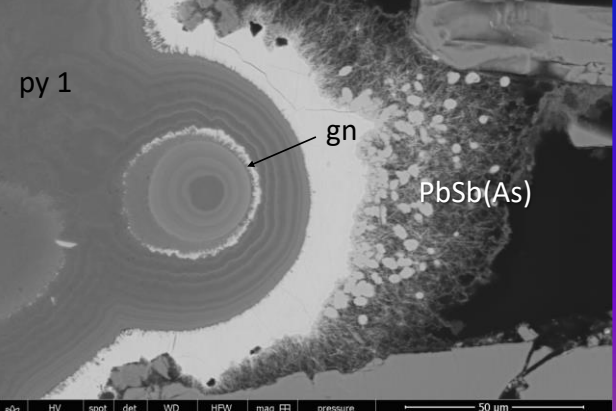
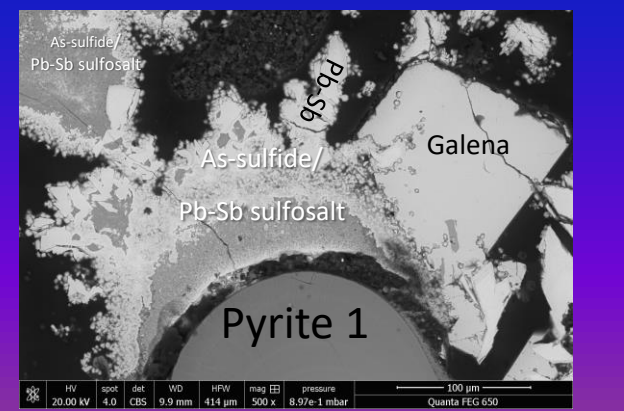
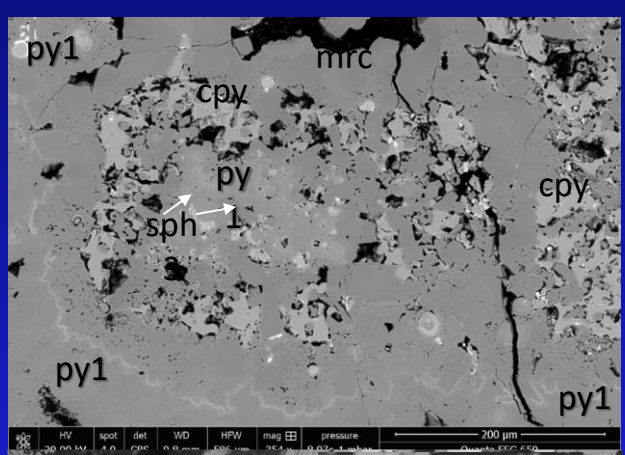
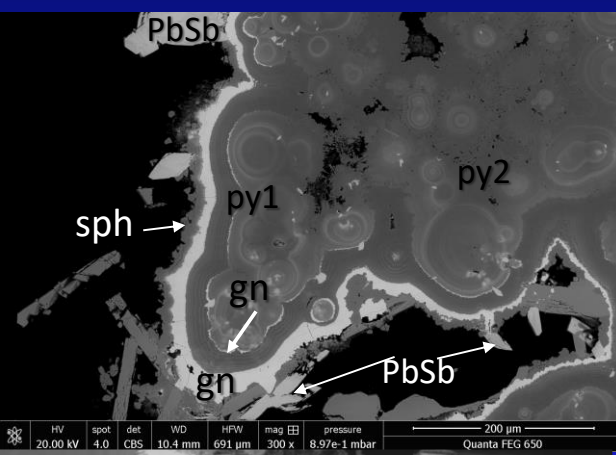
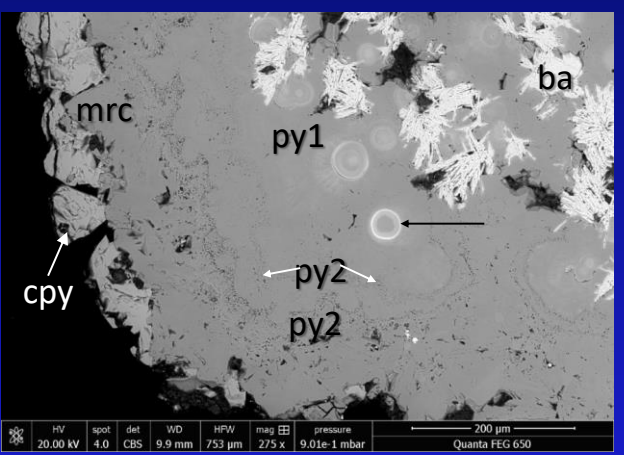
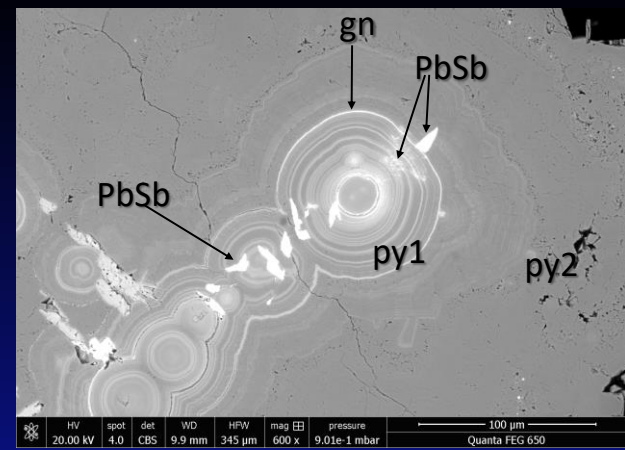
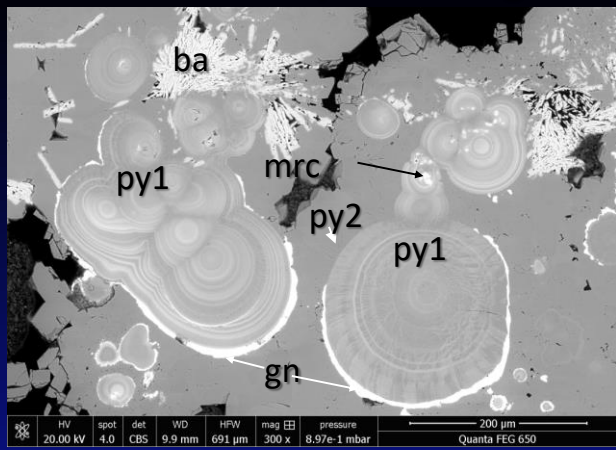
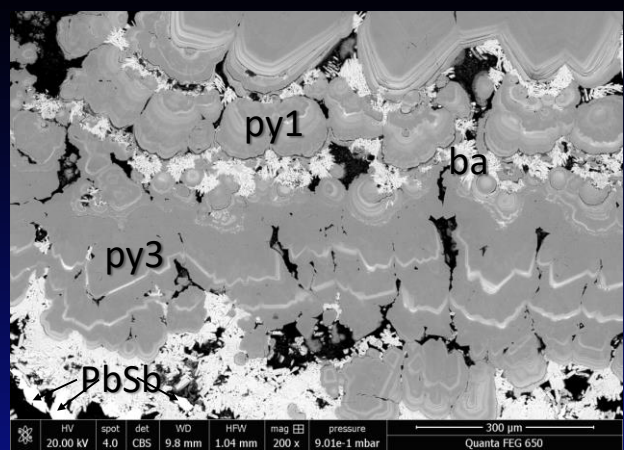
Polymetallic metal enrichment

High volatile “epithermal” metal[loid] content

Analog of epithermal gold deposits mined on land

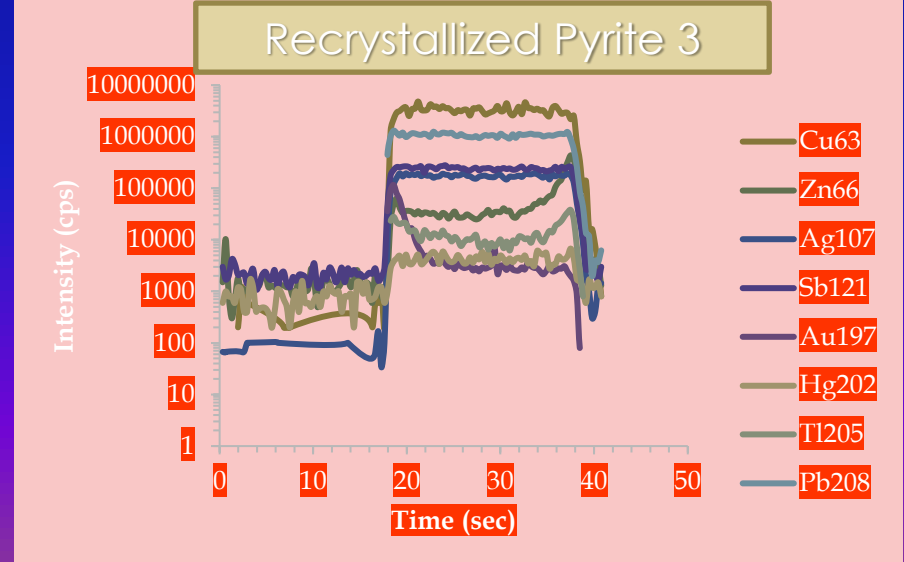
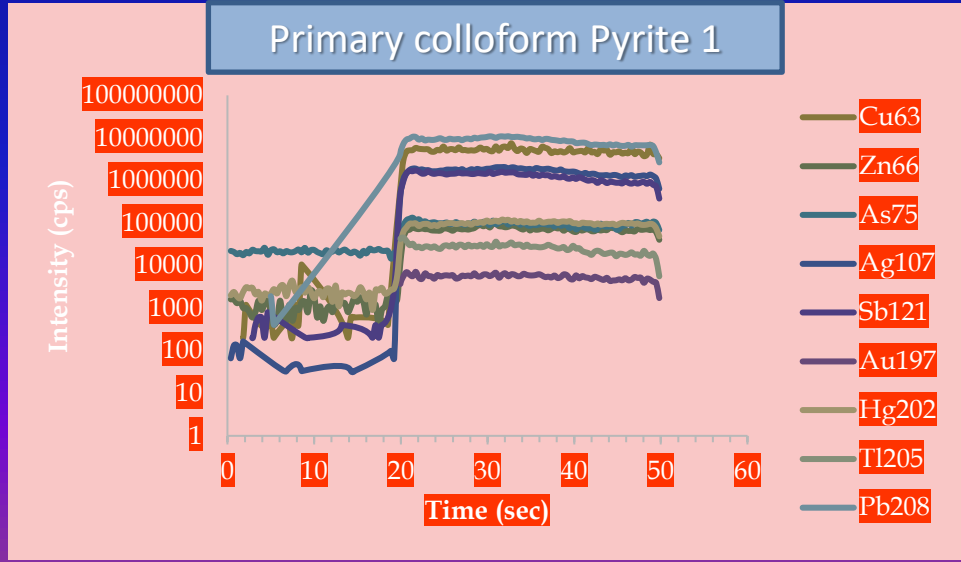
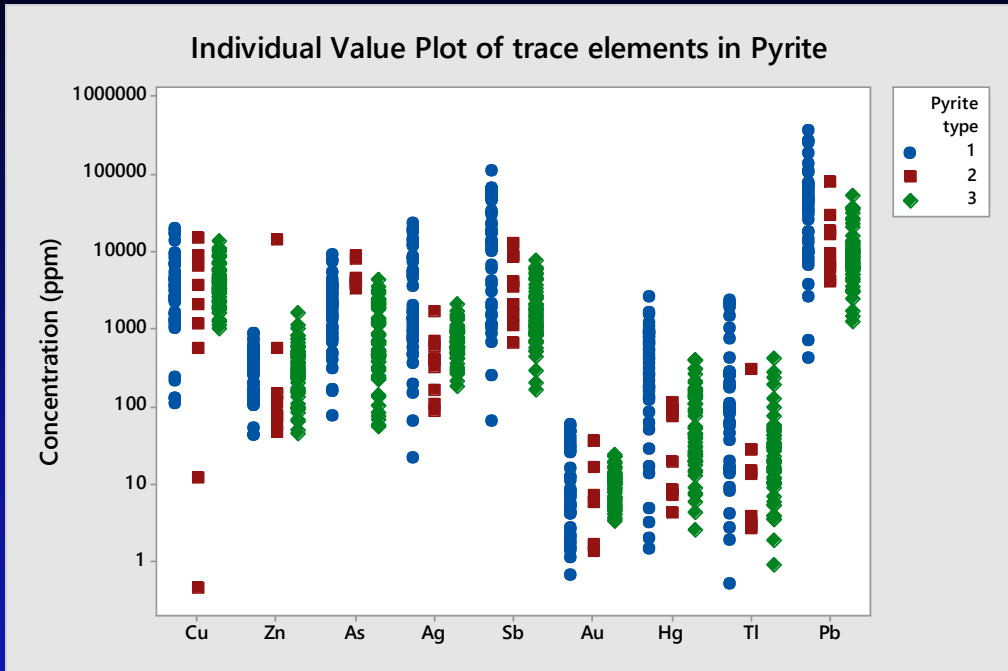


Mineral texture as a measure of the maturity of fine grained ore



LA-ICP-MS trace element analysis in ore pyrite

Mineralogical sequestration of Au, Ag, Cu, Sb, Hg, Tl - Solid solution vs μ - to nano-particles



ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Primary Mineralogy and Zonation

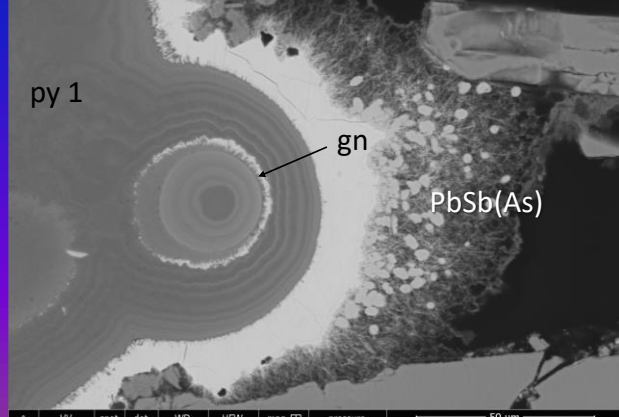
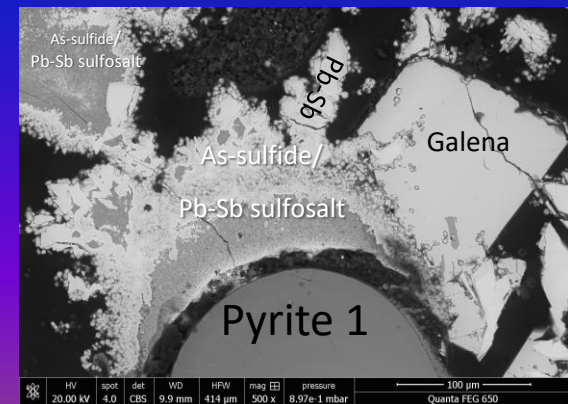
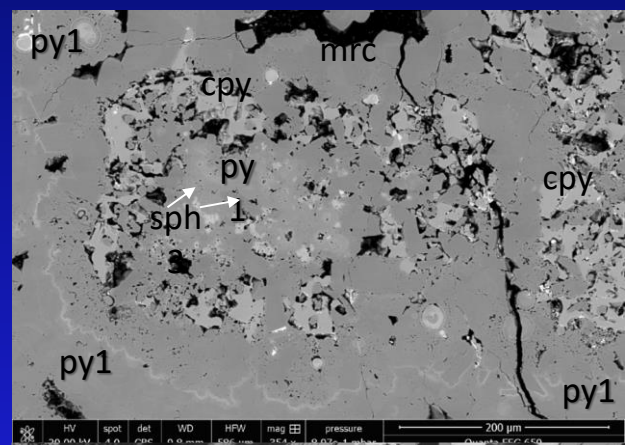
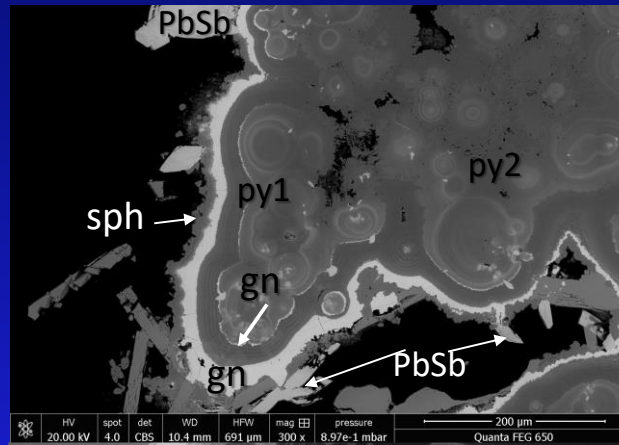
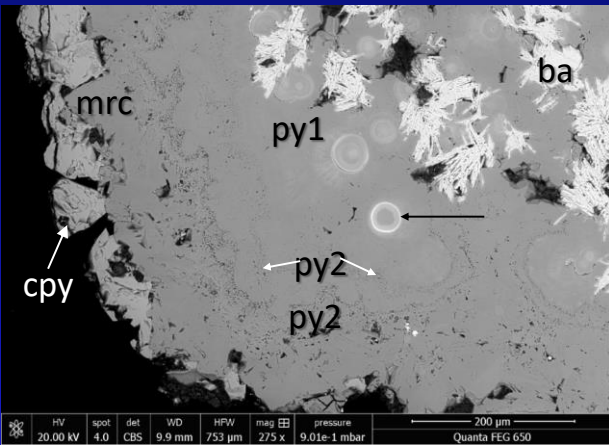
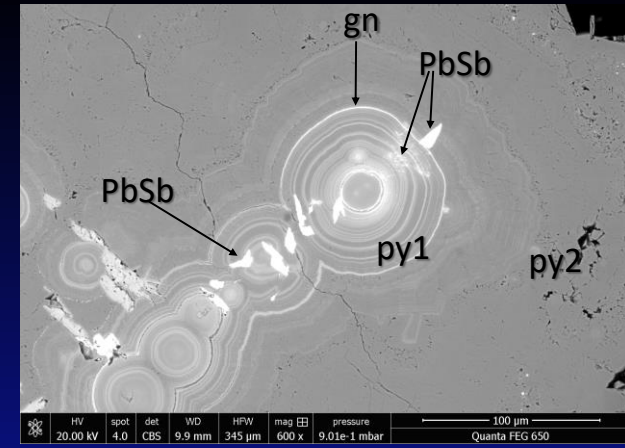
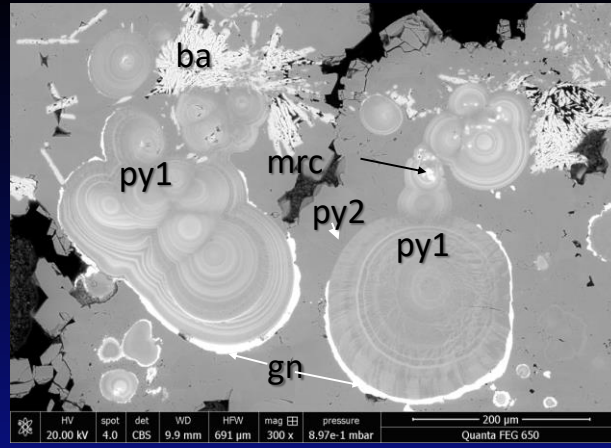
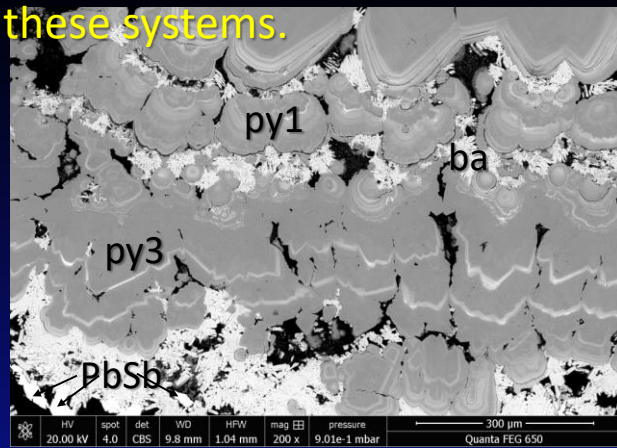
The primary, or original mineralogy of mineral deposits is the ultimate source of metals, acidity, and, in some cases, alkalinity in these systems.

In addition, many hydrothermal mineral deposits are zoned. For example, porphyry copper systems can contain significant amounts of lead and zinc. However, the lead- and zinc-rich zones are typically found peripheral to the copper-rich centers of these deposits, and consequently, are rarely mined.

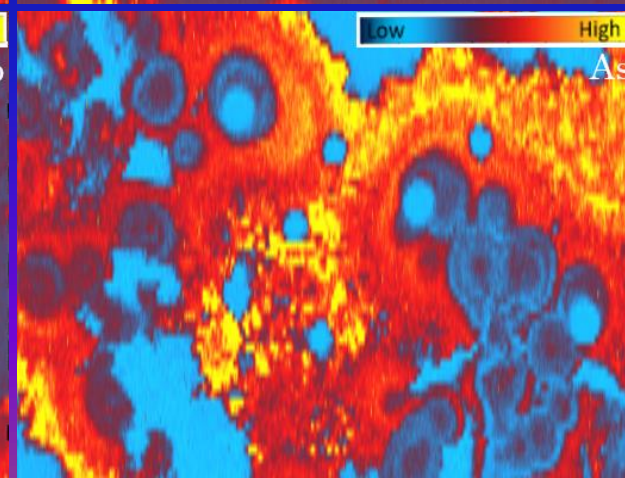
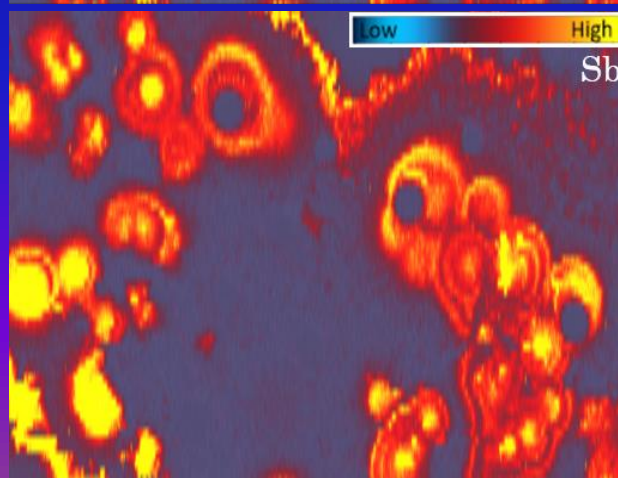
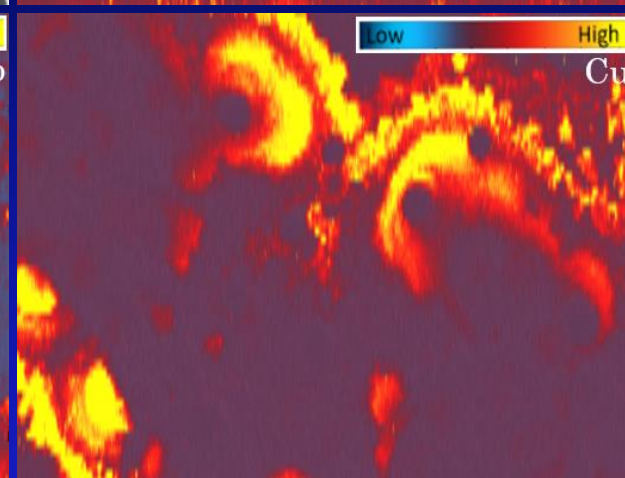
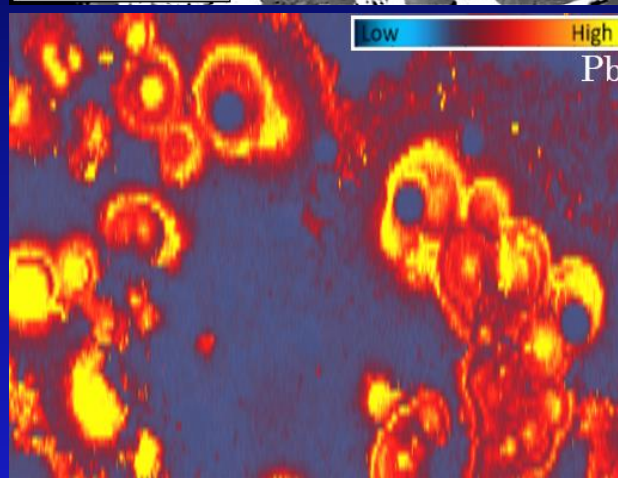
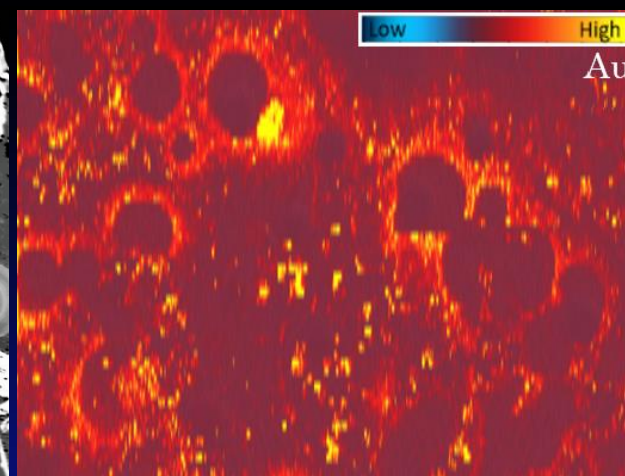
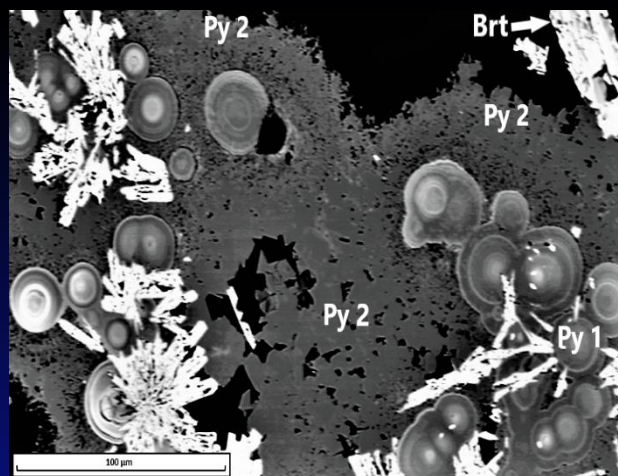
Also, the presence of pyrite, as a source of dissolved ferric iron, greatly enhances the acid-generating potential of weathering monosulfide minerals like sphalerite or galena (Plumlee, 1999).

The weathering behavior of minerals can vary significantly due to differences in morphological characteristics and trace element compositions. For example, sedimentary environments can contain “framboidal” pyrite, which is much more reactive than cubic crystals of pyrite. Likewise, pyrite that contains significant amounts of arsenic oxidizes more rapidly than arsenic-free pyrite (Plumlee, 1999).

The primary mineralogy of mineral deposits is the ultimate source of metals, acidity, alkalinity in these systems.



LA-ICP-MS Elemental mapping



ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Secondary Mineralogy

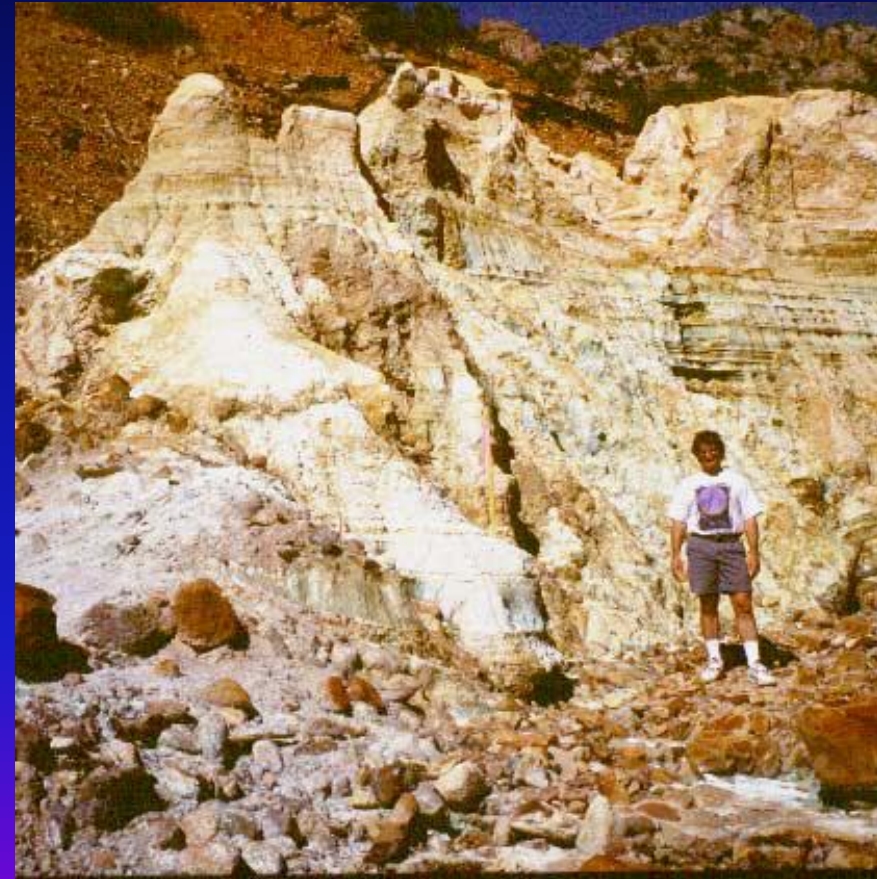
The secondary mineralogy, which forms through the weathering of a deposit or its mine wastes, tends to sequester metals and (or) acidity on either a long-term or short-term basis. Hydrated ferric oxides can sorb metals on a somewhat refractory substrate, whereas efflorescent metal sulfate salts, such as melanterite, serve as a means to store metals and acidity on a temporary basis during dry periods. These salts readily dissolve during rain storms or spring snow melt and deliver their metals and acidity to the surrounding watershed.

For many deposit types, pre-mining oxidation of primary ores was a major contributing factor in enriching some deposits to economic grades.

Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ. Ευδιάλυτα δευτερογενή ορυκτά άλατα και όξινη απορροή

Απόβλητα επεξεργασίας με άφθονα
διαλυτά ορυκτά άλατα

- Η εξάτμιση όξινων υδάτων κατά την διάρκεια ξηρών περιόδων προκαλεί την απόθεση διαλυτών θειούχων αλάτων όπως κοπιαπίτης (copiapite) $[\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20(\text{H}_2\text{O})]$, ή χαλκανθίτης (chalcanthite) $[\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$.
- Κατά την διάρκεια της επόμενης υγρής περιόδου αυτά τα άλατα διαλύονται άμεσα
 - Η ροή όξινων υδάτων και μετάλλων σαν αποτέλεσμα της διάλυσης των αλάτων σε τοπικά ρέματα μπορεί να είναι τοξική για την υδρόβια ζωή

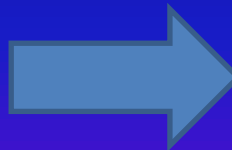


Απόβλητα επεξεργασίας με άφθονα διαλυτά ορυκτά άλατα



Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ. Έλεγχος της κινητικότητας μετάλλων από μεταλλεία

- Αραίωση από επιφανειακά νερά, υπόγεια νερά
 - οδηγεί σε αύξηση του pH—μέγιστη επίπτωση από νερά με υψηλή αλκαλικότητα (ξηρά κλίματα ή αποστράγγιση ανθρακικών πετρωμάτων)
- Σχηματισμός κολλοειδών, μικροσωματιδίων
 - υδατικά οξείδια Fe, Al(π.χ. iron (Fe) and hydroxides (OH⁻), and weakly bound water.), οξυυδροθειούχες ενώσεις (**hydroxysulfates**) MSO_4OH (M = Fe, Mn)



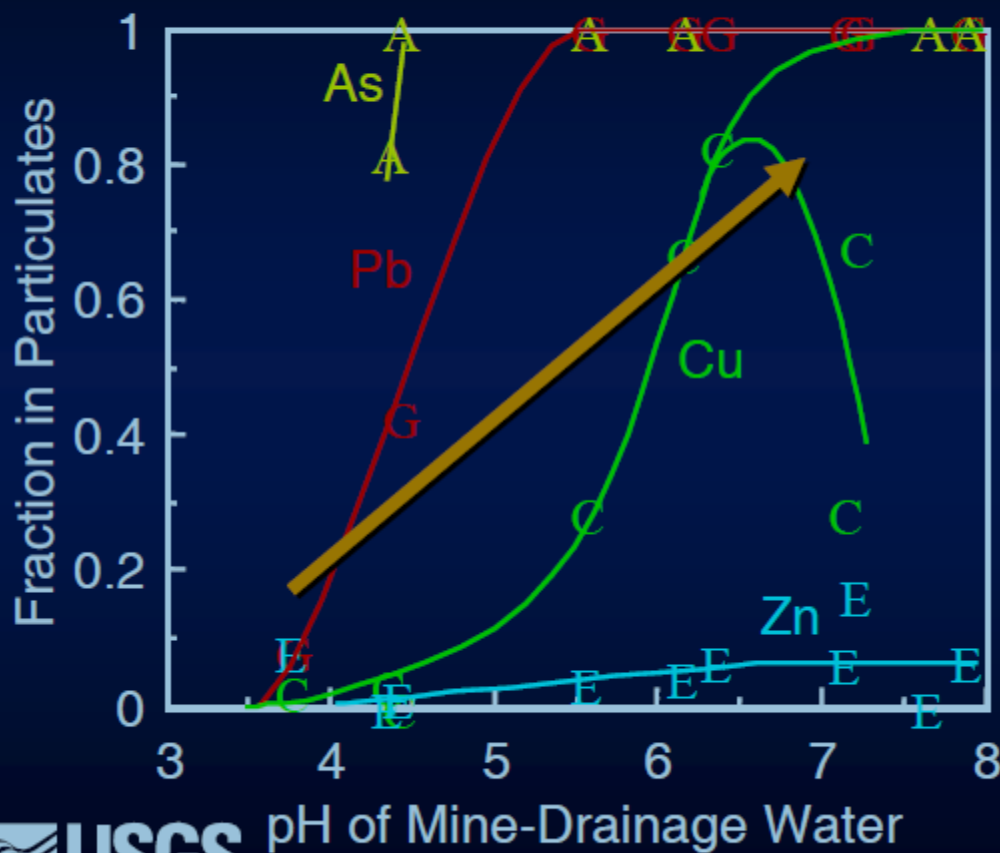
Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ. Έλεγχος της κινητικότητας μετάλλων από μεταλλεία

- Προσρόφηση μετάλλων σε οργανικά και μη-οργανικά μικροσωματίδια που εξαρτάται από το pH και την ποσότητα των αιωρούμενων μικροσωματιδίων σε επιφανειακά ύδατα
 - καθίζηση των μικροσωματιδίων από επιφανειακά ύδατα μπορεί να αποσπώσει μέταλλα από το περιβάλλον
 - ΟΜΩΣ, μέταλλα προσροφημένα σε μικροσωματίδια μπορεί να είναι βιοδιαθέσιμα στην υδρόβια ζωή



Προσροφημένα μέταλλα (As, Pb, Cu, Zn) σε αιωρούμενα μικροσωματίδια σε σχέση με το pH υδάτων απορροής μεταλλείων

Metal fraction in suspended particulates, selected mine drainages



Orange arrow shows approx. pH-particulate trend for waters that are progressively diluted downstream from mine sites.

Data from K.S. Smith

Cd, Ni remain dissolved across entire pH range



pH of Mine-Drainage Water

Dr. Geoffrey S. Plumlee
U.S. Geological Survey
Denver, CO
gplumlee@usgs.gov

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Soil and Sediment Signatures

Pre-mining soil and stream sediment signatures may be useful for establishing pre-mining backgrounds. Also, soils around abandoned mine and smelter sites represent a significant sink for metals.

Topography and Physiography

Topography and physiography are important factors controlling the local hydrologic setting, particularly the location of the water table. Also, deposits located in physiographic provinces in the rain shadow of orographic highs, such as the Great Basin of Nevada east of the Sierra Nevada Mountains, will behave quite differently than those located in provinces with high rainfall.

Hydrology

The hydrologic setting, especially relative to the water table, is a key variable in determining the magnitude of mine drainage problems. The Iron Mountain mine in northern California is dominantly situated above the water table and produces waters with pH values as low as -3.6 (Nordstrom and others, 2000), whereas much of the Penn mine is below the water table and only produces waters with pH values as low as 2.8 (Alpers and others, 1999). Similarly, the geologic setting of a deposit can influence the distribution of fracture-controlled permeability, and thus, access to ground water.

Drainage Signatures

The geology of a deposit exerts a major influence on both pre-mining background water compositions and on mine drainage. Drainage characteristics vary systematically according to deposit type (Fig. 1). Increases in total dissolved base metals generally correlate with increases in associated pyrite content, decreases in acid-neutralizing capacity, and increases in base metal content of deposits (Plumlee, 1999).

Climatic Effects

Climate plays a key role in the environmental behavior of mineral deposits. Differences in temperature, amount of precipitation, and humidity are probably the most important climatic variables (Plumlee, 1999). Temperature and humidity are the prime variables that control evaporation. Evaporation limits the amount of water in semi-arid to arid climates. Evaporation can concentrate solutes in all climates. Winter freezing conditions can lead to seasonally episodic fluctuations in drainage chemistry. Ecosystems may form a reasonable basis for assessing the role of climatic variability in the environmental behavior of mineral deposits (Bailey, 1996). Nevertheless, more research is needed to better understand the link between climate and the environmental impacts of mineral deposits.

ANATOMY OF A *GEOENVIRONMENTAL* MODEL

Potential Environmental Concerns

Potential environmental concerns associated with mineral deposits can generally be divided into three broad categories: (1) human health risks; (2) ecosystem risks; and (3) physical hazards. All of these concerns are ultimately rooted in the geologic foundation of the mineral deposit. Human health risks (exclusive of physical hazards) generally focus on metals (lead, arsenic, selenium, and mercury) associated with various mineral deposit types, and elements and compounds used in ore processing, such as mercury or cyanide. Ecosystem risks are associated with acidity and a range of metals. Physical hazards, such as open shafts and open pits, are related to the mining required to exploit specific mineral deposit types.

“(Βίο)γεωχημικός Κύκλος”
δυναμικά τοξικών στοιχείων και μετάλλων στο περιβάλλον

**Σχετική κινητικότητα, Βιοδιαθεσιμότητα, και
Τοξικότητα των Μετάλλων**

Πιθανή κατάληξη(Fate)

Πρόσληψη

(Βιο)Συσσώρευση ;

Επιπτώσεις στο Περιβάλλον και στην υγεία, Τοξικότητα

Κινητοποίηση, Μεταφορά (Transport)

Πηγή (Source)

Φυσική(Γεωγενής) και(ή)

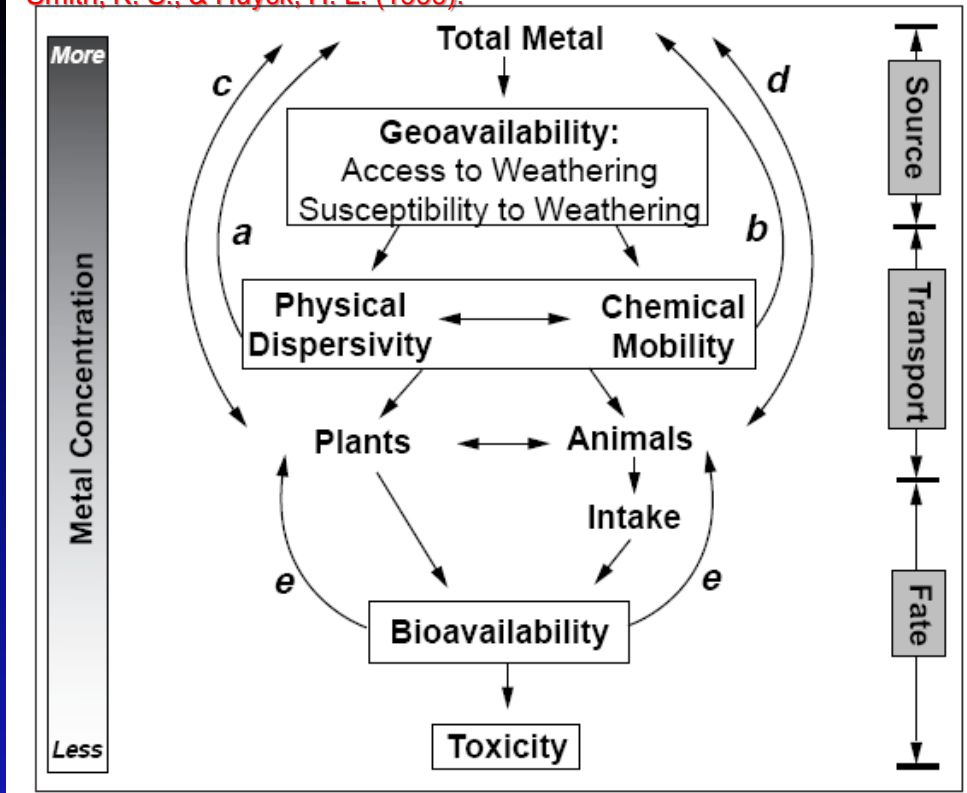
Ανθρωπογενής

“(Βίο)γεωχημικός Κύκλος”:

Σχετική κινητικότητα, Βιοδιαθεσιμότητα, και Τοξικότητα Μετάλλων

Καθώς κινείται ένα μέταλλο/ τοξικός μολυντής από το ένα στάδιο στο άλλο, μεταφέρεται λιγότερο από το 100% της συνολικής του συγκέντρωσης--άρα δεν είναι ολόκληρη η ποσότητα/συγκέντρωση (Total Metal) Γεωδιαθέσιμη, Βιοδιαθέσιμη ή Τοξική. Οι γκρι αποχρώσεις της διπλανής εικόνας απεικονίζουν αυτή την ιδέα. Οι βρόχοι “a” και “b” υποδηλώνουν μεταφορά και απόθεση μετάλλων σε κάποιο άλλο γήινο υλικό (π.χ. από αποσασθρωμένο μέταλλευμα σε έδαφος ή ίζημα). Οι βρόχοι “c” και “d” υποδηλώνουν απ’ ευθείας πρόσληψη του μετάλλου/μολυντή από φυτά ή ζώα (π.χ. πίκια από παιδιά) και πιθανή επαναπόθεση μετάλλων λόγω αποσύνθεσης ή απέκκρισης. excretion. Ο βρόχος “e” απεικονίζει “biomagnification”.

Smith, K. S., & Huyck, H. L. (1999).



Συνολικό Μέταλλο (“Total Metal”): συνολική συγκέντρωση ενός μετάλλου σε ένα γήινο υλικό (ορυκτό, μέταλλευμα)

Τοξικότητα (“Toxicity”): ενός στοιχείου ή χημικής ένωσης είναι η ιδιότητα του υλικού να επηρεάσει δυσμενώς κάθε βιολογική λειτουργία

Βιοδιαθεσιμότητα (“Bioavailability”): ο βαθμός κατά τον οποίο ένας μολυντής σε μία δυνητική πηγή είναι ελεύθερος/διαθέσιμος για πρόσληψη (κίνηση προς τα μέσα ή επάνω σε έναν οργανισμό ή φυτό).

Γεωδιαθεσιμότητα (“Geoavailability”): το τμήμα εκείνο της συνολικής περιεκτικότητας ενός χημικού στοιχείου ή ένωσης σε ένα γήινο υλικό (ορυκτό, μέταλλευμα) το οποίο μπορεί να απελευθερωθεί στην γήινη επιφάνεια ή κοντά στην γήινη επιφάνεια (ή βιόσφαιρα) μέσω μηχανικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Η Γεωδιαθεσιμότητα σχετίζεται με την επιδεκτικότητα και διαθεσιμότητα της ορυκτής φάσης-ξενιστή σε αντιδράσεις εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης.

“Dispersivity”: αναφέρεται σε φυσικές διεργασίες, ή στην ικανότητα των στοιχείων να διασκορπίζονται μέσω μη-χημικών διεργασιών

“Biomagnification”: συνδέει τα τμήματα του κύκλου “Κατάληξη” και “Μεταφορά”

Γεωδιαθεσιμότητα (Geoavailability)

- το τμήμα εκείνο της συνολικής περιεκτικότητας ενός χημικού στοιχείου ή ένωσης σε ένα ορυκτό ή μετάλλευμα το οποίο μπορεί να απελευθερωθεί στην γήινη επιφάνεια ή κοντά στην γήινη επιφάνεια (ή βιόσφαιρα) μέσω μηχανικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Η Γεωδιαθεσιμότητα σχετίζεται με την επιδεκτικότητα και διαθεσιμότητα της ορυκτής φάσης-ξενιστή σε αντιδράσεις εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης.

- Smith, K. S., & Huyck, H. L. (1999). The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits: Part A. Processes, Techniques, and Health Issues, Rev. Econ. Geol., vol. 6A (1999), p. 29-70.

- Ένα μέταλλο για να γίνει βιοδιαθέσιμο πρέπει πρώτα να είναι γεωδιαθέσιμο

Η συνέχεια γέω-διαθεσιμότητας---βίο-διαθεσιμότητας

Συνολική συγκέντρωση ενός μετάλλου σε ένα γήινο υλικό (ορυκτό, μέταλλευμα)

Το γέω-διαθέσιμο κλάσμα

Το βίο-προσπελάσιμο(bioaccessible) κλάσμα – εκείνο που είναι διαλυτό στα διάφορα υγρά του σώματος (γαστρεντερικά, αναπνευστικά, ιδρώτας κλπ.)

Το βιο-διαθέσιμο κλάσμα – εκείνο που απορροφάται από το σώμα, και μεταφέρεται μέσα στο σώμα σε σημεία τοξικολογικής δράσης

Η γέω-διαθεσιμότητα του μολύβδου (Pb)

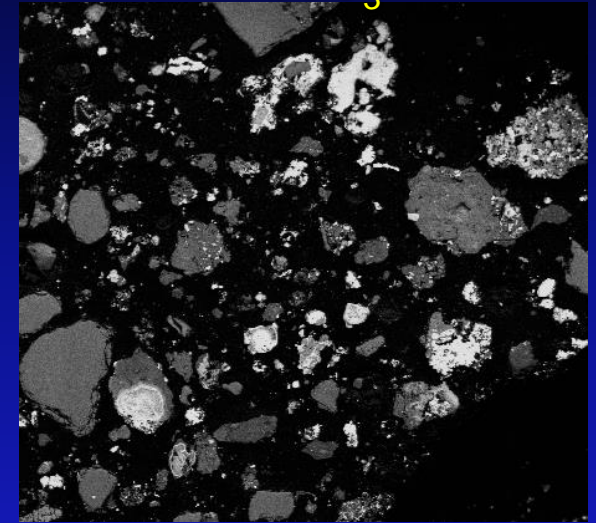
Αδρόκοκκος
θειούχος μολύβδος



Μόλυβδος
προσροφημένος σε
μικρό-σωματίδια
μεταλλουργείου



Λεπτόκοκκος
ανθρακικός μολύβδος
 $PbCO_3$



Very High

Moderate

High

Lead Concentration

Low

Lead Geoavailability

Very High

Η βίο-διαθεσιμότητα του μολύβδου (Pb)

Ίχνη μολύβδου
σε πυριτικά ορυκτά



Αδρόκοκκος θειούχος
μόλυβδος



Μόλυβδος προσροφημένος
σε μικρό-σωματίδια
μεταλλουργείου



High

Low

Lead Concentration

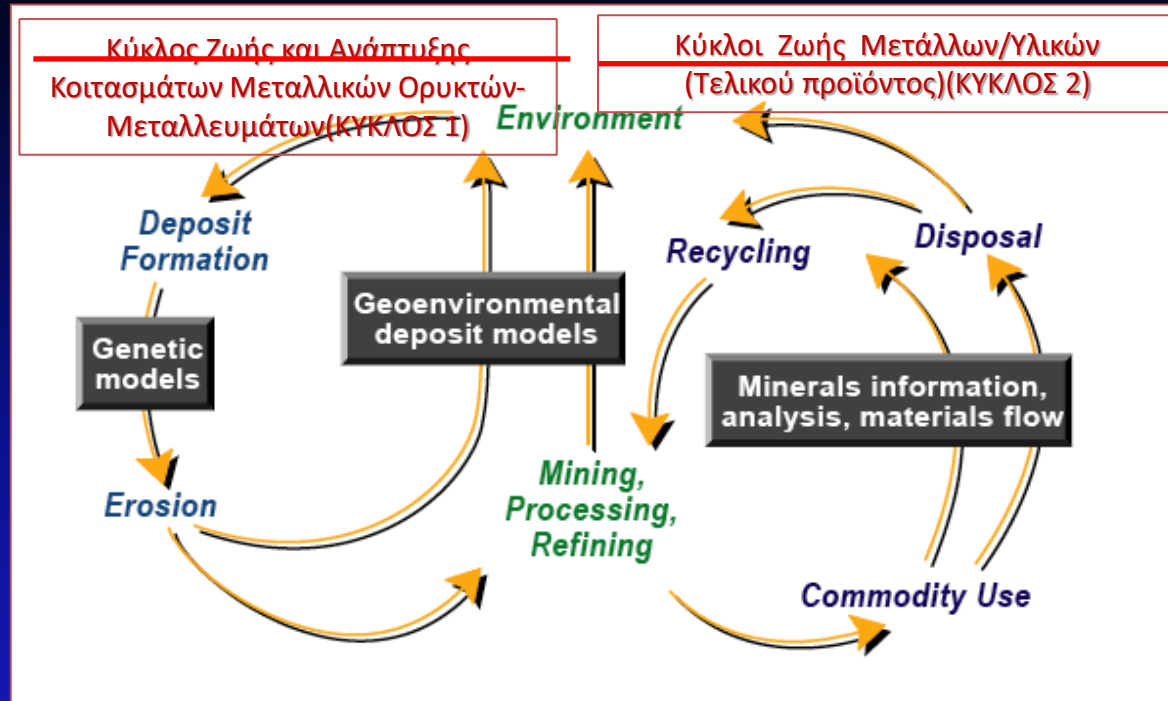
Moderate

Low

Lead Geoavailability

High

Κύκλος Ζωής και Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων Μ.Ο.Π.Υ.



Τα “Γεωπεριβαλλοντικά Μοντέλα Κοιτασμάτων”(Geoenvironmental deposit models) αποτελούν φυσικές προεκτάσεις των “Μοντέλων Γένεσης Κοιτασμάτων”(Genetic models). Ένα Γεωπεριβαλλοντικό Μοντέλο ενός κοιτάσματος (μεταλλικών) ορυκτών είναι μια συλλογή γεωλογικών, γεωχημικών, γεωφυσικών, υδρολογικών, και μηχανικών δεδομένων που αφορούν στην περιβαλλοντική συμπεριφορά γεωλογικά παρόμοιων κοιτασμάτων (1) πριν από την ανάπτυξη μεταλλείου-ορυχείου (Mining), και (2) σαν αποτέλεσμα της μεταλλευτικής δραστηριότητας (Mining), εξόρυξης/λειοτριβήσης/εμπλουτισμού-μεταλλουργικής ή άλλης επεξεργασίας (Processing) και παραγωγής μετάλλου/υλικού (Refining). Επομένως, ένα Γεωπεριβαλλοντικό Μοντέλο παρέχει πληροφορίες/δεδομένα σχετικές(α) με φυσικές γεωχημικές μεταβολές/αλλαγές (αποσάθρωση/διάβρωση) (Erosion) που συνδέονται με έναν συγκεκριμένο τύπο κοιτάσματος, καθώς και γεωχημικές μεταβολές που συνδέονται με την υγρά ή στερεά τα λύματα/απορρίμματα της εξορυκτικής δραστηριότητας, και των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού και μεταλλουργικής ή άλλης επεξεργασίας(Processing, Refining) συμπεριλαμβανομένων και της καμίνευσης(ΚΥΚΛΟΣ 1). Τον ΚΥΚΛΟ 1 συμπληρώνει ο κύκλος ζωής των μετάλλων/υλικών /τελικού προϊόντος (ΚΥΚΛΟΣ 2): οι διεργασίες μετάβασης το ένα στάδιο του ΚΥΚΛΟΥ 2 στο άλλο (Χρήση τελικού προϊόντος (Commodity use)— Διάθεση αποβλήτων (Disposal)—Ανακύκλωση (Recycling), προσδιορίζονται και ελέγχονται τόσο από μία ολιστική θεώρηση (μεταλλεία, παραγωγοί, τεχνολόγοι ανακύκλωσης, τεχνοκράτες, χρηματιστές, καταναλωτές, πολιτικοί) της διατήρησης της παγκόσμιας προσφοράς-και-ζήτησης σε μέταλλα κρίσιμων τεχνολογιών, όσο και ποσοτικοποίηση των ροών μετάβασης από το ένα στάδιο 2 στο άλλο (Minerals information, analysis, materials flow).

Μορφές, Κινητικότητα και Τοξικότητα του As στο Περιβάλλον

Processes conducive to the release and transport
of arsenic into aquifers of Bangladesh

Matthew L. Polizzotto^{*}, Charles F. Harvey[†], Steve R. Sutton[‡], and Scott Fendorf^{*§} PNAS December 27, 2005

**Role of metal-reducing bacteria in
arsenic release from Bengal delta
sediments**

Farhana S. Islam¹, Andrew G. Gault¹, Christopher Boothman¹,
David A. Polya¹, John M. Charnock^{1,2}, Debashis Chatterjee³
& Jonathan R. Lloyd¹

NATURE, VOL 430, 1 JULY 2014

**Arsenic Contamination of Groundwater: A Review of Sources,
Prevalence, Health Risks, and Strategies for Mitigation**

Shiv Shankar,¹ Uma Shanker,² and Shikha¹

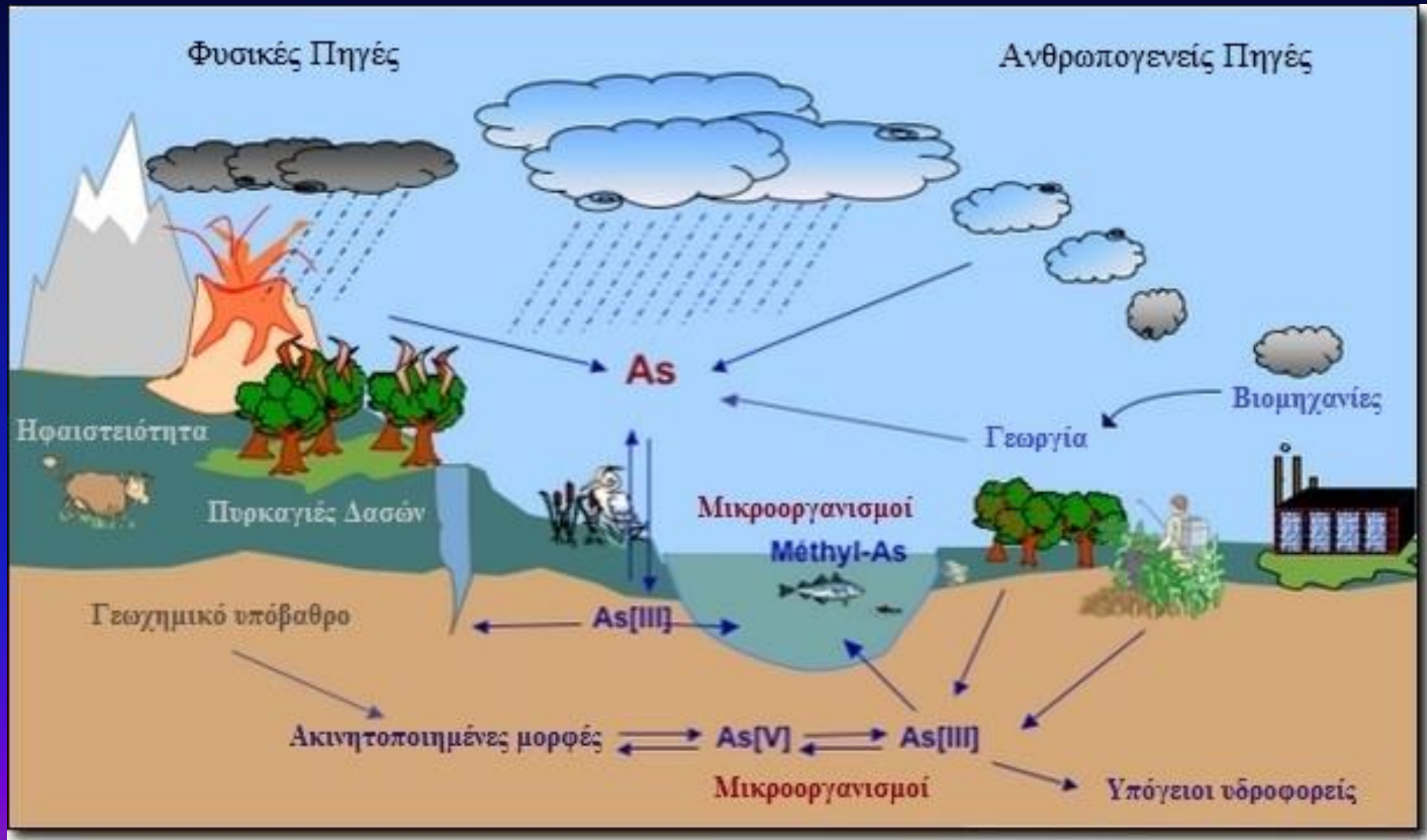
The Scientific World Journal, 14 October 2014

Τι είναι γνωστό για το αρσενικό (As)

- Το As είναι μεταλλοειδές, ανήκει στην ομάδα του αζώτου, έχει $A_r=74,9$ και $Z=33$.
- Απομόνωση από τον αλχημιστή Albertus Magnus το 1250.
- Η ονομασία του προέρχεται από το "αρσενικόν" των αρχαίων Ελλήνων (κίτρινη σανδαράχη, As_2S_3), που χρησίμευε ως χρώμα.
- Το As_2O_3 ήταν το γνωστό «ποντικοφάρμακο» και άλατά του χρησιμοποιήθηκαν ως «ιστορικά» δηλητήρια.
- Είναι το 20^ο πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό της Γης. Βρίσκεται ως κύριο συστατικό σε πάνω από 200 ορυκτά, από τα οποία τα πλέον κοινά είναι: ο **αρσενοπυρίτης**, $FeAsS$, η **κίτρινη σανδαράχη** (orpiment), As_2S_3 και η σπανιότερη **ερυθρά σανδαράχη** (realgar), As_4S_4 .

F01. Αρσενοπυρίτης, $FeAsS$ F02. Κίτρινη σανδαράχη, As_2S_3 F03. Ερυθρά σανδαράχη, As_4S_4

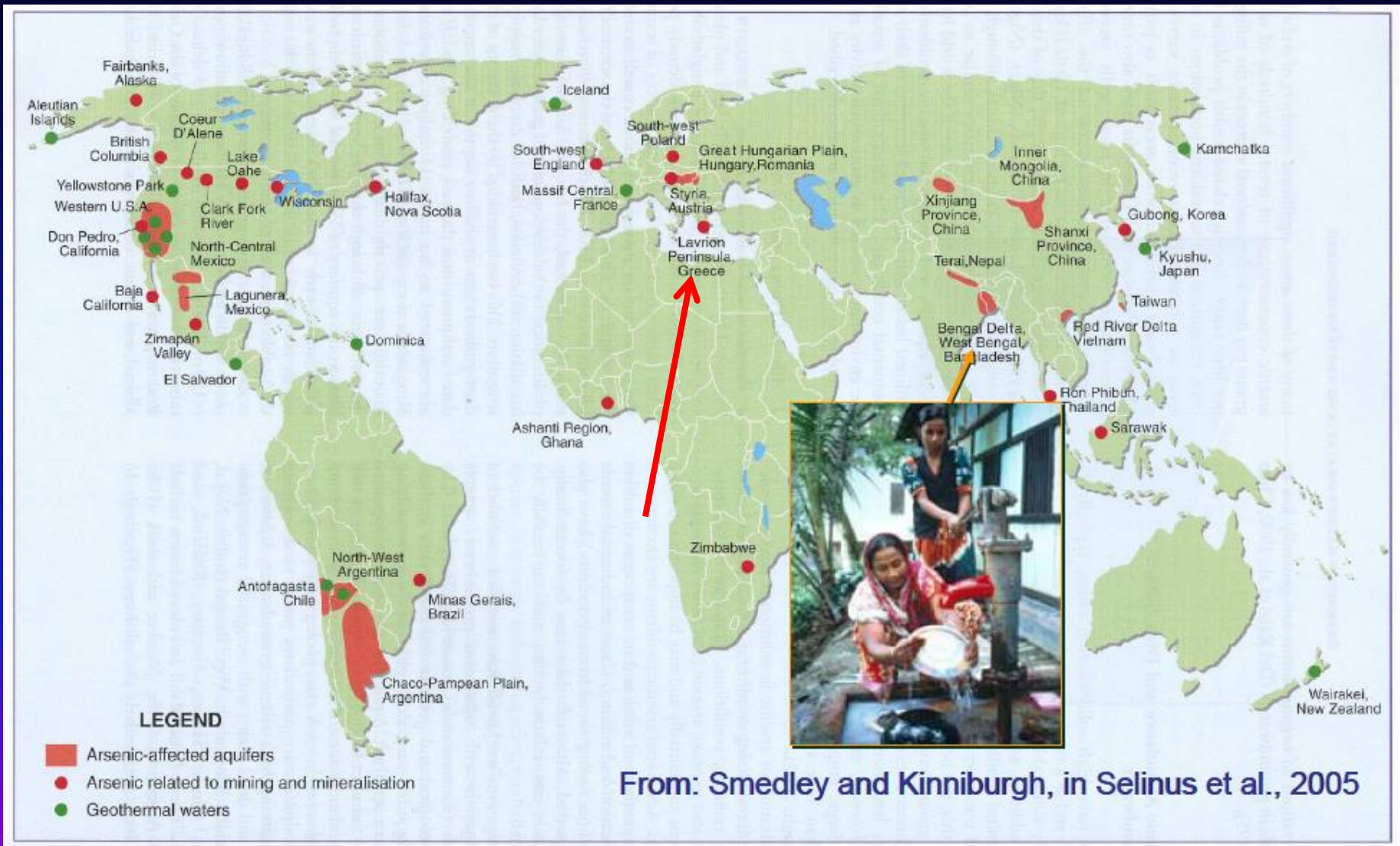
Οξειδωτική κατάσταση του αρσενικού(As) και κινητικότητα στο περιβάλλον



Οξειδωτική κατάσταση του αρσενικού(As) και κινητικότητα στο περιβάλλον

- Σε επιφανειακές συνθήκες, όπου τα ύδατα είναι οξειδωτικά, το Αρσενικό (V) είναι ευκίνητο σε πολύ χαμηλό pH, και σε αλκαλικό pH. Σε συνθήκες σχεδόν-ουδέτερου pH, προσροφάται ισχυρά σε υδροξείδια του σιδήρου (FeO(OH) , $\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$).
- Σε αναγωγικά υπόγεια νερά που δεν έχουν επαφή με την ατμόσφαιρα, το Αρσενικό (III) είναι πολύ ευκίνητο σε σχεδόν-ουδέτερο pH values, ιδιαίτερα όταν σουλφίδια (π.χ. FeS_2) είναι απόντα
 - Όταν τα σουλφίδια είναι παρόντα τότε το As(III) τείνει να προσροφάται στην επιφάνεια του σιδηροπυρίτη (FeS_2)

Γεωγενές Αρσενικό (As) στο πόσιμο νερό



Γεωγενές Αρσενικό (As) στο πόσιμο νερό, Bangladesh



- Κατανάλωση υπόγειου νερού από αβαθή πηγάδια τα οποία κατασκευάστηκαν για να προμηθεύσουν στους κατοίκους εναλλακτική πηγή των επιφανειακών υδάτων που είναι φορείς παθογόνων

- Υπερκεράτωση (Hyperkeratosis) δέρματος, καρκίνος του δέρματος, skin lesions, κακώσεις του δέρματος, κ.α.

- Περίπου 200.000 άνθρωποι με αρσενίκωση (arsenicosis) (επιπτώσεις στην υγεία από τη συσσώρευση As στον ανθρώπινο οργανισμό)

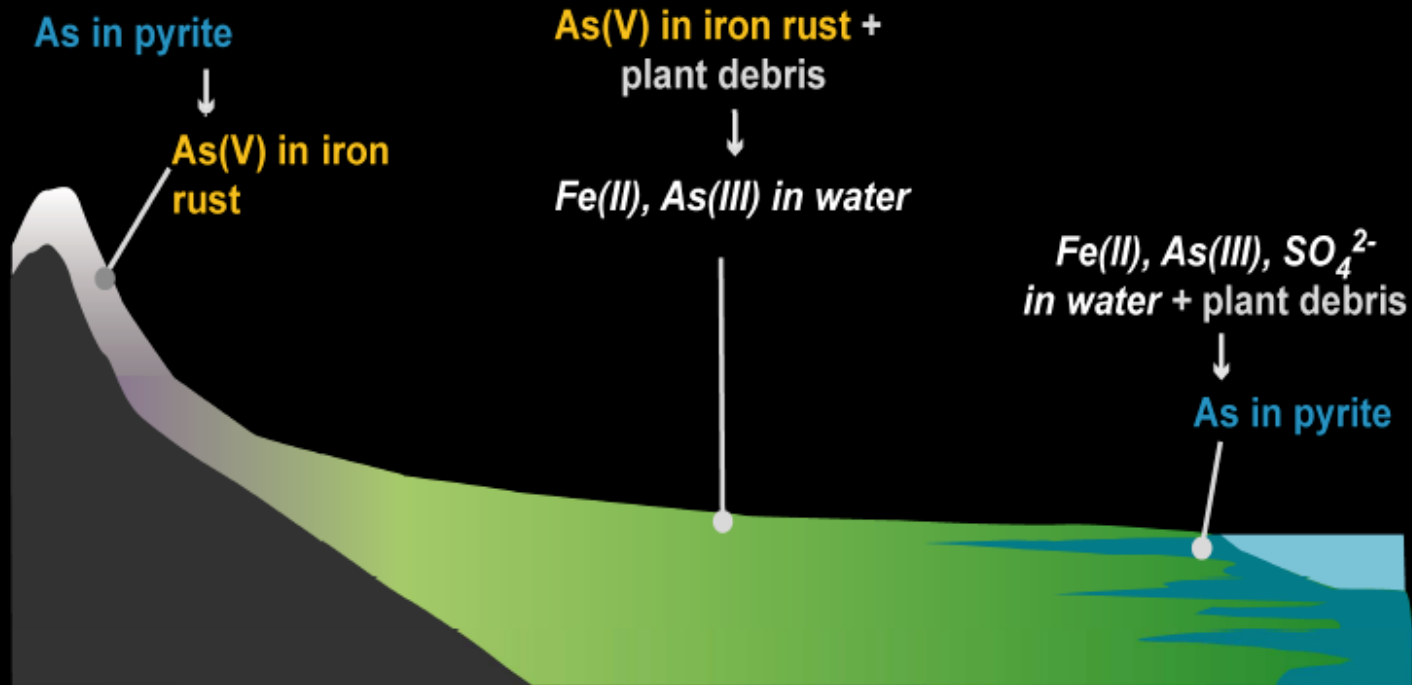


Arsenic patients in Bangladesh and West Bengal. (Photos by Prof. Richard Wilson of Harvard University)

Arsenic changes form as rock in Himalayas is eroded and rivers carry sediment to the Bay of Bengal

North

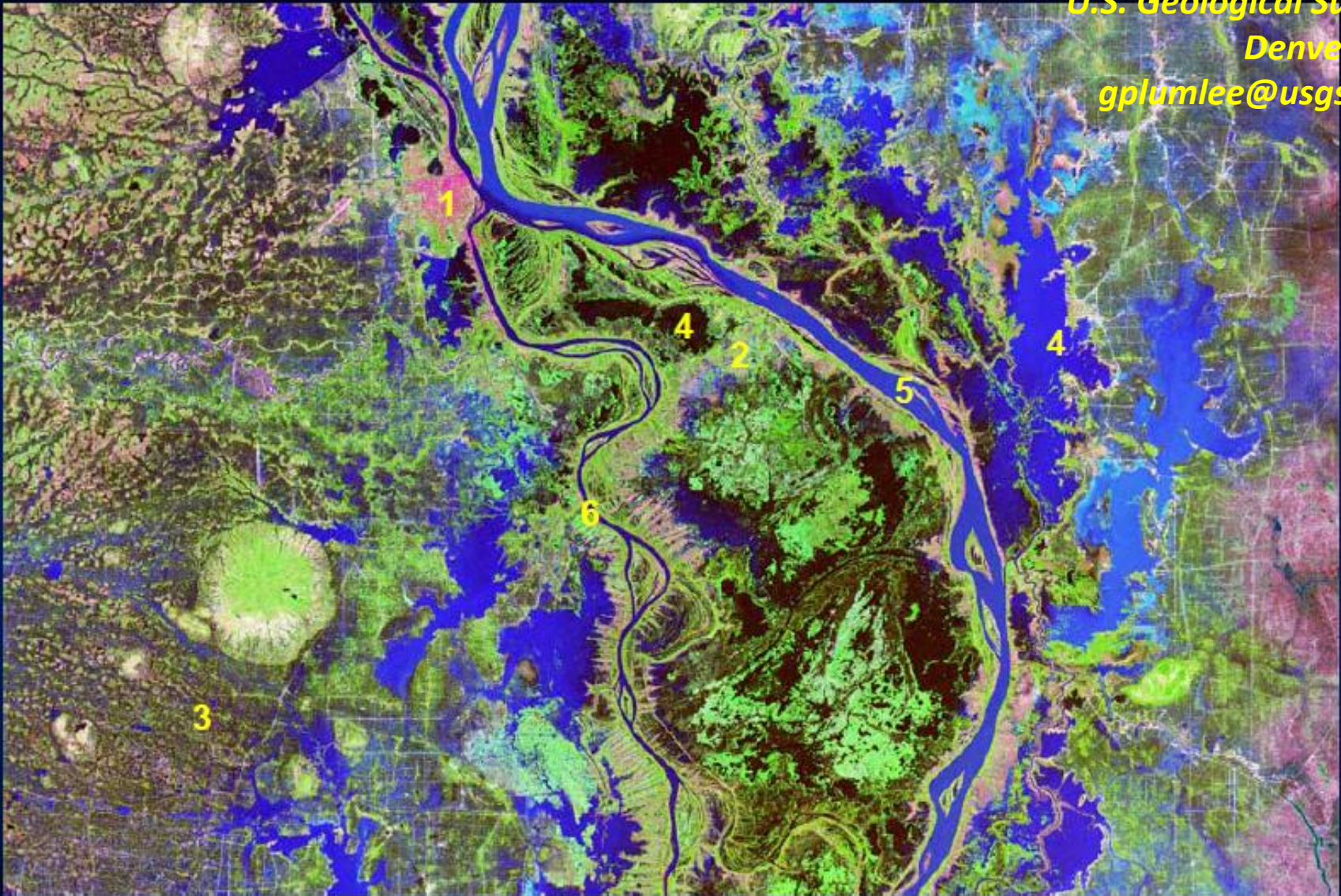
South



Slide from George Breit, USGS, gbreit@usgs.gov

**Dr. Geoffrey S. Plumlee
U.S. Geological Survey
Denver, CO
gplumlee@usgs.gov**

Dr. Geoffrey S. Plumlee
U.S. Geological Survey
Denver, CO
gplumlee@usgs.gov



USGS Water Data

1. Pools of stagnant water have sediments with high organic content and pore waters high in As(III)
2. Water flow from ponds into levee sediments allows wells to tap the As-rich water

Ground water

- <30 ug/L As
- 50-100 ug/L As
- 100-250 ug/L As
- >250 ug/L As

Surface Water

- <10 ug/L As



Iron-oxide-rich sediments with high sorbed As(V)

Ιζήματα πλούσια σε οξείδια του Fe με υψηλή περιεκτικότητα προσροφημένου As(V)

Organic-rich sediments with high mobile As(III)

Ιζήματα πλούσια σε οργανικό υλικό με υψηλή περιεκτικότητα σε ευκίνητο As(III)

Dr. Geoffrey S. Plumlee
U.S. Geological Survey
Denver, CO
gplumlee@usgs.gov

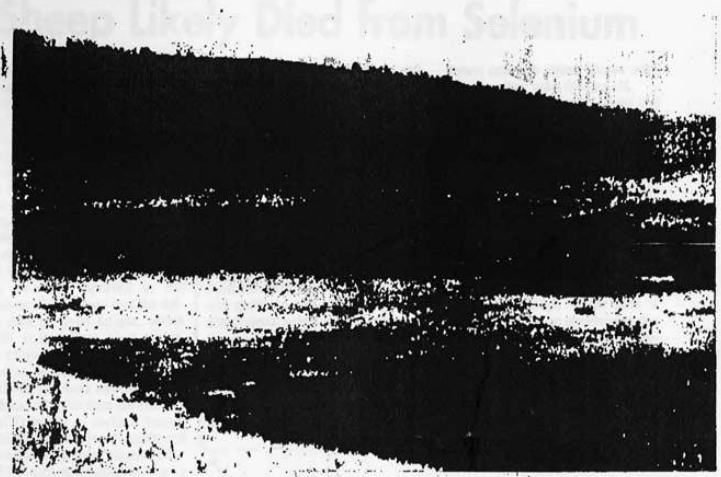
**“Everything is a poison, nothing is a poison,
the dose alone is the poison”**

P.A. Paracelsus (1493-1541)

A new study published in the *International Journal of Cancer* finds that higher levels of selenium are associated with a decreased colorectal cancer risk.



Caribou County Sun
Caribou County, Idaho 83276 (Contact Mark Steele, editor) 208/547-3260
Thursday, November 11, 1999 50¢ PER COPY



TWO GROUPS of dead sheep were found in September near the old Stauffer Mine in Woolley Valley. Selenium toxicosis is the suspected cause of death because high levels of selenium were found in tissues and stomach contents. Experts said other variables may also have been an influence in the deaths and further testing by toxicologists is being conducted. Besides the two bunches, other suspected dead animals in the area brought the total between 60 and 80 sheep.

Toxicologist and Vet Say Dead Sheep Likely Died from Selenium

The cause of death of between 60 and 80 sheep on the Caribou National Forest is "reasonably and likely" selenium toxicosis, according to veterinarian and toxicology reports released this week by the Springs Animal Clinic, concurred with Dr. Talcott's findings, with whom he consulted. The sheep were owned by Cal Dredge of Soda Springs and grazed on the old Stauffer Mine site owned by Dr. Cutler said certain plants and feed additives can also cause similar myocardial lesions independent of selenium, but "these plants the sheep had been feeding on."

NEWSBRIEF FROM CHINA...

Red Beer: The Selenium-Enriched Brew From Taizhou

Red Beer—Se-enriched—is a unique new member of the beer family recently introduced in China following approval for commercial production by the provincial authorities. It is produced by the Boshi Brewing Co. in Taizhou and reportedly possesses "extraordinary Selenium supplementing qualities".

“Everything is a poison, nothing is a poison, the dose alone is the poison”

- Πλειάδα πηγών δυνητικά τοξικών μετάλλων και ορυκτών στομ περιβάλλον
- Η περιβαλλοντική κινητικότητα των μετάλλων καθώς και οι επιπτώσεις των στην υγεία των ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από:
 - Την γεωλογική, ορυκτολογική ή χημική μορφή με την οποία απαντώνται στην πηγή δηλ. πόσο άμεσα απελευθερώνονται από την πηγή τους μέσω περιβαλλοντικών διεργασιών
 - Τις γεωλογικές, γεωχημικές, και βιολογικές διεργασίες που επιδρούν στην απελευθέρωση των από την πηγή, και στην μεταφορά τους στο περιβάλλον
 - Τις διεργασίες μέσω των οποίων απομακρύνονται από το περιβάλλον
- Η γεωλογική και γεωχημική γνώση του κύκλου των μετάλλων στο περιβάλλον, αποδεικνύεται κρίσιμη στην κατανόηση της δυνητικής πηγής και των επιπτώσεων τους στη υγεία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Appleton, J.D., Fuge, R., McCall, G.J.H., eds., 1996, Environmental geochemistry and health, with special reference to developing countries: The Geological Society, London, Specialpublication No. 113.
- Centeno, J.A., et al., eds. 2000, Metal ions in biology and medicine, volume 6; Proceedings of the Sixth Intl. Symposium on Metal Ions in Biology and Medicine: John Libbey Eurotext, Montrouge, France, 816 pp.
- Graedel, T. E., E. M. Harper, N. T. Nassar, and Barbara K. Reck. "On the materials basis of modern society." Proceedings of the National Academy of Sciences (2013): 201312752
- Jenne, E.A., and Luoma, S.N., 1977, Forms of trace elements in soils, sediments and associated waters—An overview of their determination and biological availability; in Wildung, R.E., and Drucker, H. (eds.), Biological Implications of Metals in the Environment: Technical Information Center, Energy Research and Development Administration Symposium Series 42, NTIS, Springfield, Va., CONF-750929, pp. 110–143.
- Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., 1992, Trace elements in soils and plants, 2nd ed.: CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla., 342, pp.

- Lusty, P. A. J., & Gunn, A. G. (2015). Challenges to global mineral resource security and options for future supply. Geological Society, London, Special Publications, 393(1), 265-276.
- Pais, I., and Jones, J.B., Jr., 1997, The handbook of trace elements: St. Lucie Press, Boca Raton, Fla., 223 pp.
- Plumlee, G.S. (1999) The environmental geology of mineral deposits, in: G.S Plumlee, M.J. Logsdon (Eds.), The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits: Part A. Processes, Techniques, and Health Issues, Rev. Econ. Geol., vol. 6A (1999), pp. 71–116
- Plumlee, G.S. and Logsdon, M.J., eds., the Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques, and Health Issues: Society of Economic Geologists reviews in Economic Geology, V. 6A, 371 pp., and...
- Filipek, L.H., and Plumlee, G.S., eds., 1999, The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques, and Health Issues: Society of Economic Geologists reviews in Economic Geology, V. 6A, 212 pp.
- Smith, K.S., and Huyck, H.L.O., 1999, An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability, and human toxicity of metals; in Plumlee, G.S. and Logsdon, M.J., eds., The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, Techniques, and Health Issues: Society of Economic Geologists reviews in Economic Geology, V. 6A, pp. 29-70.
- Plumlee, G.S., and Ziegler, T.L., 2003, The medical geochemistry of dusts, soils, and other earth materials: in, B.S. Lollar, ed., Treatise on Geochemistry, volume 9, chapter 7. Available online via ScienceDirect
- Gaffney, J., and Marley, N., 2005 in press, Urban Aerosols, Lessons Learned from the World Trade Center Tragedy: American Chemical Society Special Volume