

ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ DAIS ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΝ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΕΠΙΘΕΡΜΙΚΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΜΗΛΟ.¹

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΓΚΑΝΑΣ², GRAHAM FERRIER³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα κοιτάσματα επιθερμικού χρυσού έχουν αποκτήσει προσφάτως μεγάλο ενδιαφέρον ως στόχοι ερεύνης χρυσού, επειδή έχουν χαμηλό κόστος εκμεταλλεύσεως και γρήγορη απόδοση της επενδύσεως. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται για πρώτη φορά μια τηλεπισκοπική μέθοδος χαρτογραφήσεως των ζωνών υδροθερμικής εξαλλοιώσεως στη Δυτική Μήλο. Μετά από ψηφιακή επεξεργασία σε δύο εικόνες του αερομεταφερόμενου υπερφασματικού σαρωτή DAIS του Αυγούστου 1998 εντοπίστηκε σειρά ζωνών εξαλλοιώσεως, οι οποίες προσδιορίζονται από συγκεκριμένες παραγενέσεις ορυκτών της αργίλου. Έκαστη ζώνη φέρει ένα ή και περισσότερα διαγνωστικά ορυκτά τα οποία αναγνωρίστηκαν μέσω των φασματικών τους ιδιοτήτων, κυρίως στο μέσο υπέρυθρο (SWIR) και θερμικό υπέρυθρο, με χαρακτηριστικότερη εμφάνιση του καολινίτη.

ABSTRACT

A number of airborne radiometers have been used during the last 10 years on various sites around the globe, demonstrating the successful application of remote sensing in mineral exploration. In Greece we have undertaken such an airborne campaign for the first time. We acquired Hyperspectral data in collaboration with the German Space Centre (DLR) using the DAIS-7915 over the island of Milos in August 1998 under the ESA DAIS-LSF scientific programme. Two remote sensing datasets of Milos were acquired at noon and pre-dawn through clear skies with coincident field spectroradiometry and thermocouple measurements being made at 12 sites.

METHODOLOGY

An empirical line correction was applied to the DAIS data using the ground spectral data obtained coincident with the aircraft overflight. Meteorological data was retrieved for the time of the aircraft overflight and used to validate the results of an atmospheric correction technique using a radiative transfer approach. The reflectance-corrected DAIS data was analysed and distributions of alteration minerals retrieved. The mineral spectral libraries have been resampled to DAIS wavebands to indicate the sensitivity of DAIS data in identifying the diagnostic minerals. It is apparent that the DAIS data has sufficient sensitivity to carry out this task. The results of the empirical line correction were validated using ground spectra from very pure hematite and kaolinite targets. The distribution of a number of key minerals has been mapped out.

PRELIMINARY RESULTS

Kaolinite (with very variable amounts of alunite and bentonite) has been shown to be widely dispersed over Western Milos. The kaolinite is much less intense and widespread on the Profitis Elias gold prospect and appears to form a continuous zone around the prospect. Hematite distribution has been successfully mapped out. There is a strong correlation with kaolinite distribution. However some small occurrences of hematite are located on the Profitis Elias gold prospect with no associated kaolinite. On Profitis Elias gold prospect some patches of illite-jarosite have been identified. These are often linear in outcrop and are not associated with kaolinite but occasionally have associated hematite. Preliminary results of thermal data analysis have identified the locations of altered rocks both in the kaolinite region and on the Profitis Elias prospect.

1: MAPPING OF DIAGNOSTIC CLAY MINERALS IN EPITHERMAL GOLD DEPOSITS OF MILOS ISLAND (GREECE) USING HYPERSPECTRAL DATA FROM THE DAIS AIRBORNE RADIOMETER.

2: Ερευνητής, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Θησείο 118 10, Τ.Θ. 200 48, Αθήνα. e-mail: aganas@gein.noa.gr

3: Department of Geography, University of Hull, Hull HU6 7RX, UK. E-mail: g.ferrier@geo.hull.ac.uk

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Τηλεπισκόπηση, Υπερφασματικά Δεδομένα, Αργιλικά Ορυκτά, Σαρωτής DAIS, Μήλος.

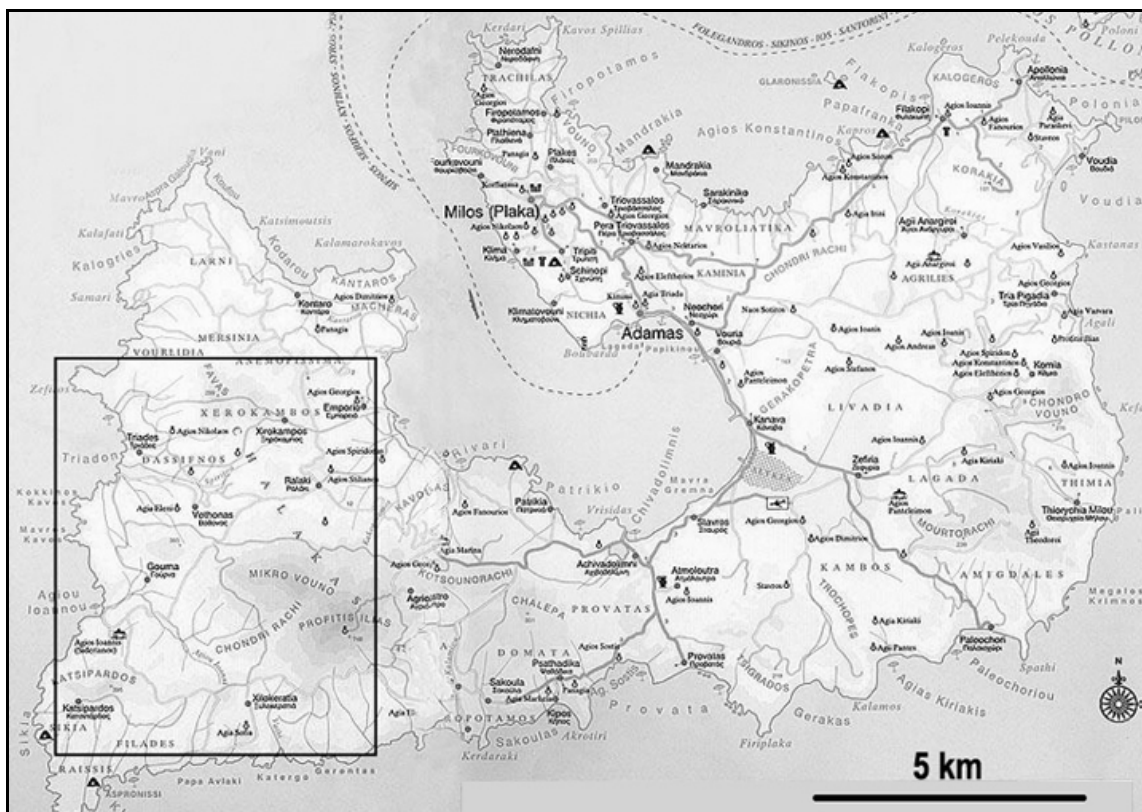
KEY WORDS: Remote Sensing, Hyperspectral Data, Clay minerals, DAIS sensor, Milos

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεταβολή της ανακλαστικότητας διαγνωστικών ορυκτών της αργίλου συναρτήσεως του μήκους κύματος δεν είναι δυνατόν να διαγνωστεί επαρκώς από τούς δορυφορικούς σαρωτές, οι οποίοι είναι σαρωτές ευρέως-φάσματος (broad-band, 500 nm έως 1 μm ανά φασματική ζώνη). Έτσι, στις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας κατασκευάστηκαν αερομεταφερόμενοι, υπερφασματικοί σαρωτές (CASI, GERIS, AVIRIS, HyMap, MIVIS, DAIS), οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα σε γεωλογικές χαρτογραφήσεις (Adams et al., 1993; Ferrier and Wadge, 1996; Reinhäckel και Krüger, 1998; Ferrier and Ganas, 2000; Ferrier et al., 2002; Berger et al., 2001). Οι υπερφασματικοί σαρωτές διαχωρίζουν τις φασματικές υπογραφές των διαφορετικών ορυκτών κυρίως στο μέσο υπέρυθρο (2.0 - 2.5 μm) διά του προσδιορισμού του χαρακτηριστικού φάσματος απορρόφησης για κάθε ορυκτό. Εργαστηριακά έχει αποδειχθεί, ότι το φάσμα απορρόφησης παρουσιάζεται σε διαδοχικώς μεγαλύτερα μήκη κύματος για τα ορυκτά: καολινίτης [Al₂Si₂O₅(OH)₄], ιλλίτης, μοντμοριλονίτης, ιαροσίτης [KFe₃(SO₄)₂(OH)₂], χλωρίτης [(Mg, Al, Fe)₁₂(S, Al)₈O₂₀(OH)₁₆], δολομίτης και ασβεσίτης [CaCO₃]. Το «βάθος» της καμπύλης ή η ένταση του φάσματος απορρόφησης εξαρτάται από την ποσότητα του αργιλικού ορυκτού (%) στα πετρώματα (π.χ Reinhäckel και Krüger, 1998).

Εικόνα 1. Χάρτης της Μήλου με σημειωμένο το πλαίσιο της περιοχής μελέτης.

Figure 1. Map of Milos showing the study area (black box).



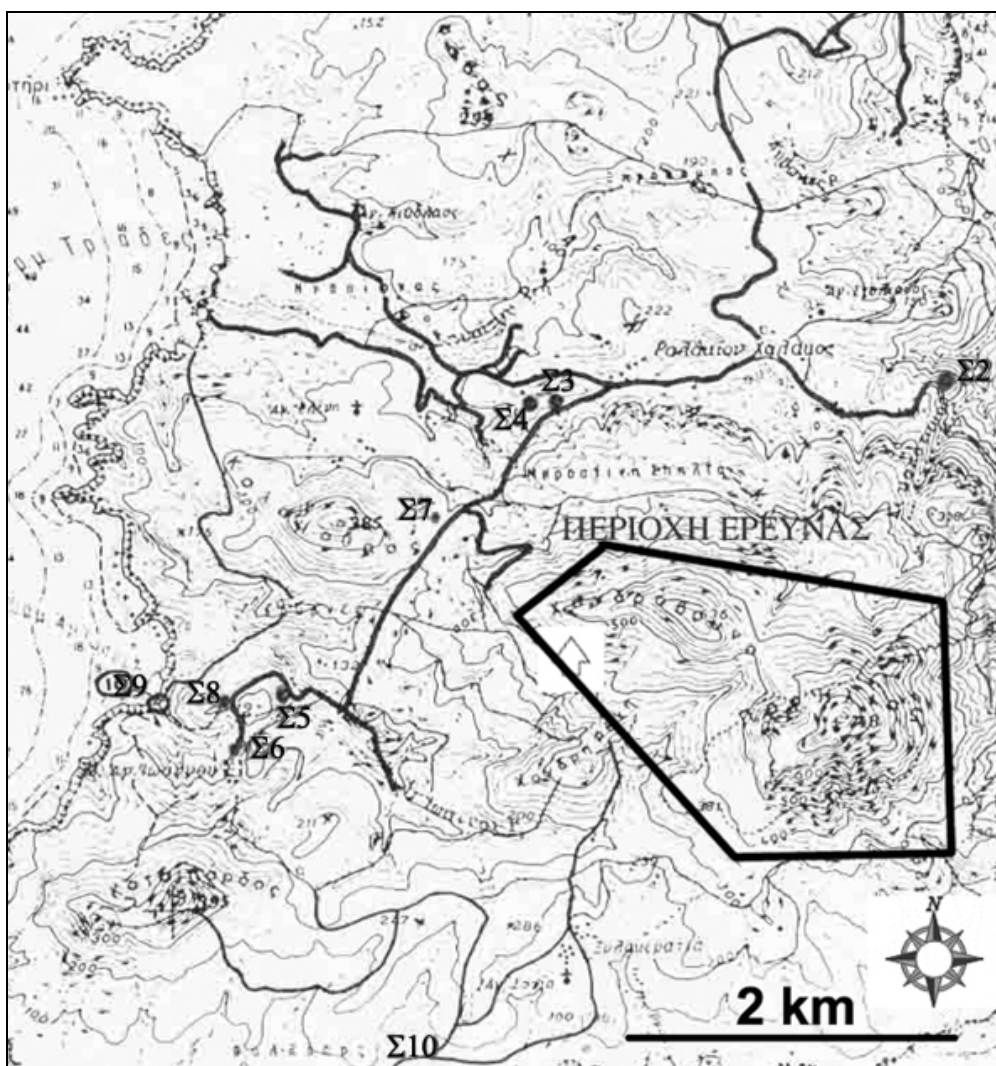
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Επιλέξαμε την νήσο Μήλο για τους εξής λόγους: α) Η δυτική Μήλος περικλείει μεγάλες εκτάσεις (~ 70 τετραγωνικά χιλιόμετρα) επιθερμικής ηφαιστειότητας, Πλειοκαινικής ηλικίας (Φυτίκας, 1977), οι οποίες είναι πλούσιες σε εμφανίσεις βιομηχανικών ορυκτών (περλίτης-μπεντονίτης-καολίνης), καθώς και χρυσού-αργύρου και β) Η Μήλος έχει ημίξηρο κλίμα, λίγες ανθρώπινες δραστηριότητες στο δυτικό

κομμάτι και με σχετικά καλό ποσοστό γυμνού εδάφους για τηλεπισκοπικές μετρήσεις. Τα ηφαιστειακά πετρώματα της Δυτικής Μήλου είναι κυρίως ασβεσταλκαλικές λάβες (ανδεσίτες, δακίτες και ρυόλιθοι), και ηφαιστειακοί τόφοι. Το μεταμορφωμένο υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους και χαλαζίτες.

Εικόνα 2. Τοπογραφικός χάρτης της Δυτικής Μήλου με τις θέσεις φασματικής δειγματοληψίας (Σύμβολο Σ2 έως Σ10). Στο πλαίσιο «περιοχή έρευνας» γίνονται έρευνες για επιθερμικό χρυσό.

Figure 2. Map of western Milos showing the localities of ground measurements (symbols Σ2 to Σ10).



2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Ο σαρωτής DAIS 7915 είναι το ακρωνύμιο του Digital Airborne Imaging Spectrometer και φέρει 79 φασματικές ζώνες (μπάντες) σε μήκη κύματος 0.5 – 14 μm . Οι μπάντες είναι κατανομημένες ως εξής: 32 στο ορατό-εγγύς υπέρυθρο, 8 στην περιοχή των 1.5 μm , 32 στο μέσο υπέρυθρο (2.0–2.5 μm) 1 στην περιοχή 3–5 μm και 6 στο θερμικό υπέρυθρο. Η σάρωση γίνεται σε ορθή γωνία ως προς τη φορά κινήσεως του αεροσκάφους σε λωρίδες των 512 pixels. Ο σαρωτής έχει κατασκευαστεί από την αμερικανική εταιρία GER. Τα ψηφιακά δεδομένα προέρχονται από δύο διελεύσεις του σαρωτή επί αεροσκάφους Dornier 228, η κάθε μία αποτελούμενη από τέσσερις γραμμές (λωρίδες) πτήσεως σε διεύθυνση βορρά-νότο (εικόνα 3). Η κάθε λωρίδα σαρώθηκε ως ξεχωριστό αρχείο με διαστάσεις 512 στήλες επί 1947 σειρές επί 79 κανάλια. Η πρώτη διελευση έλαβε χώρα στις 25 Αυγούστου 1998 στις δώδεκα το μεσημέρι, και η δεύτερη διελευση έγινε στις πέντε και τριάντα το πρωί της 26^{ης} Αυγούστου. Οι καιρικές συνθήκες ήταν εξαιρετικές κατά τη διάρκεια των δύο πτήσεων, με μηδενική νεφοκάλυψη, μεγάλη ορατότητα και χαμηλή υγρασία αέρα. Οι υπερπτήσεις του DAIS συνοδεύτηκαν από εκτεταμένες εργασίες πεδίου (ground truth).

Η εργασία υπαίθρου αποτελείται από δύο μέρη: α) συλλογή φασμάτων ανακλαστικότητας επιφανειών και συντελεστού ειδικής εκπομπής θερμότητας (emissivity) κατά την ώρα διελεύσεως του DAIS με το φορητό φασματογράφο-ακτινοσκόπιο GER3700 και το ακτινοσκόπιο PIMA από επιφάνειες σε περιοχές αφθονίας αργιλικών ορυκτών (Ιλλίτης-Καολινίτης-Αλουνίτης) και β) συστηματική συλλογή φασμάτων από επιλεγμένες θέσεις στην περιοχή του λόφου του Προφήτη Ηλία με χρήση του PIMA ανά 30 μέτρα για τον εντοπισμό του ορίου της ζώνης εξαλλοιώσεως καολινίτη-μοντιμοριλονίτη. Επίσης, κατά τη διάρκεια της ημερήσιας πτήσης (εικόνα 3) συνελέγησαν υπερφασματικές μετρήσεις στο έδαφος της Δυτικής Μήλου σε έντεκα (11), μεγάλες, ομοιογενείς επιφάνειες με διαφορετική ανακλαστικότητα (εικόνα 2 και πίνακας 1). Επίσης, κατά τη διάρκεια και των δύο πτήσεων μετρήθηκαν επιφανειακές θερμοκρασίες του εδάφους στις ίδιες θέσεις με χρήση thermocouples.

Πίνακας 1. Θέσεις δειγματοληψίας στη Δυτική Μήλο με χρήση δωδεκακάναλου GPS χειρός (GARMIN 12 XL). Η μειωμένη χωρική ακρίβεια των 50 – 70 μέτρων του οργάνου τα έτη 1998 και 1999 δεν επηρεάζει τον εντοπισμό της θέσεως στην εικόνα DAIS, επειδή η κάθε επιφάνεια είναι ομοιογενής και έχει έκταση μεγαλύτερη από 200 τετραγωνικά μέτρα. Οι θέσεις σημειώνονται στην εικόνα 2.

Table 1. The geographical coordinates of localities of ground measurements in western Milos. The coordinates have been recorded by use of a hand-held GPS with 50-70 m positional error. Localities are shown in Figure 2.

Αριθμός Θέσης	Ωρα	Επιφάνεια- Τοποθεσία	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Υψόμετρο
1	10:00	Καολινίτης	36 40 55.4	24 25 09.9	252
2	10:50	Ρυόλιθος	36 41 45.8	24 23 25.5	191
3	11:15	Καολινίτης- Ραλάκι	36 41 43.2	24 21 42.0	130
4	14:45	Καολινίτης	36 41 45.2	24 21 20.0	147
5	12:25	Άγιος Ιωάννης	36 40 36.7	24 20 29.3	45
6	12:50	Άγιος Ιωάννης	36 40 30.6	24 20 16.6	95
7	12:00	Καλαμαύρος	36 41 14.7	24 21 03.7	267
8	13:05	Χωράφι-Μονή	36 40 44.2	24 20 20.4	79
9	13:30	Άμμος-Παραλία	36 40 38.3	24 19 52.2	0
10	15:45	Ευλοκεράτια	36 39 29.3	24 21 27.0	161
11	16:00	Ευλοκεράτια	36 39 24.1	24 21 47.7	122

Εικόνα 3. Μωσαϊκό των γραμμών σαρώσεως του DAIS κατά την 25^η Αυγούστου 1998, ώρα 12^η - 13^η μεσημβρινή. Εγγύς Υπέρυθρο-Ορατό μέρος του φάσματος. Οι γραμμές είναι προσανατολισμένες Βορράς-Νότιος.

Figure 3. Mosaic of five (5) scan lines of the DAIS airborne radiometer during the 25th August overflight. Orientation is North-south.



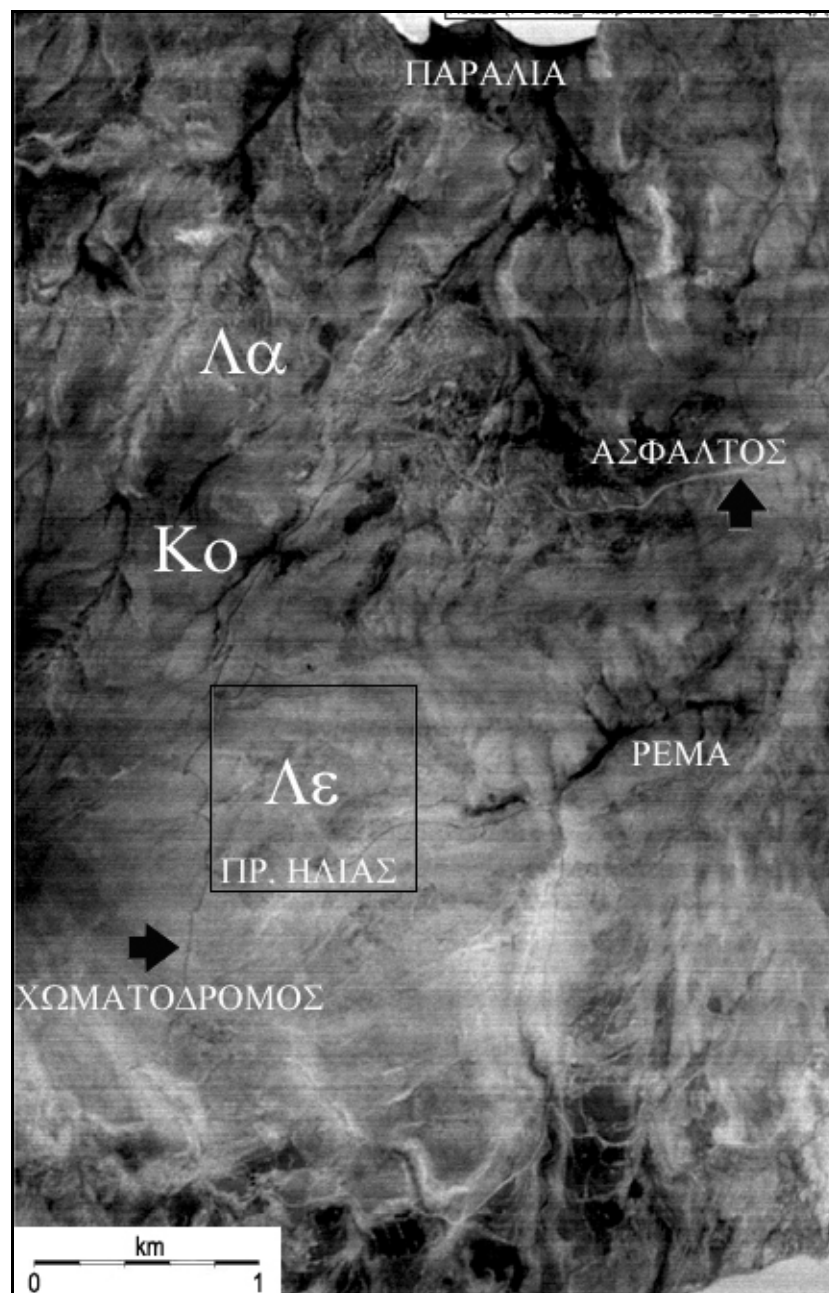
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα δεδομένα του DAIS διορθώθηκαν ραδιομετρικά και γεωμετρικά στο Γερμανικό διαστημικό κέντρο DLR στο επίπεδο 1. Η ραδιομετρία μετατράπηκε από ψηφιακές τιμές (16-άμπιτη κλίμακα ακεραίων - unsigned) σε ενέργεια (radiance - $mW/cm^2sr \mu m$) με τη χρήση των συντελεστών βαθμονόμησης για κάθε μπάντα. Η συσχέτιση έγινε με μία γραμμική εξίσωση πρώτου βαθμού. Επίσης, στο στάδιο αυτό βελτιώθηκε η εικόνα με την ισοστάθμιση της ανακλώμενης ενέργειας γειτονικών γραμμών. Ωστόσο, παρέμεινε αρκετός οριζόντιος θόρυβος κυρίως στο θερμικό υπέρυθρο (εικόνα 4). Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) παραμένει σε άριστα επίπεδα στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο μέρος του φάσματος, ενώ μειώνεται στο μέσο υπέρυθρο (SWIR) εξ αιτίας της λιγότερης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εισέρχεται στα τηλεσκόπια του DAIS (περίπου 10-30% αυτής στο ορατό). Η γεωμετρική διόρθωση έγινε πολυωνυμικά, με τη χρήση των δεδομένων του GPS του αεροσκάφους τα οποία συλλέχθηκαν ταυτόχρονα με τη σάρωση.

Κατόπιν, έγινε ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων με τη χρήση της τεχνικής της «εμπειρικής γραμμής» (empirical line), κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα πεδίου (φάσματα ανακλαστικότητας από τα σημεία του Πίνακα 1) και μετεωρολογικά στοιχεία από την ΕΜΥ. Στη συνέχεια, έγινε ανάλυση των διορθωμένων εικόνων για τον εντοπισμό των ορυκτών της υδροθερμικής εξαλλοιώσεως. Η επεξεργασία της υπερφασματικής εικόνας έγινε με τη χρήση του λογισμικού ENVI.

Εικόνα 4. Θερμική εικόνα του σαρωτή DAIS στο κανάλι 77 (11.2 μικρόμετρα). Στο πλαίσιο περικλείεται η περιοχή του λόφου του Προφήτη Ηλία όπου απαντούν εξαλλοιωμένες λάβες (Λε). Με Λα και Κο σημειώνεται η περιοχή μεταβάσεως από τα πλευρικά κορήματα στις ανδесиτικές λάβες του Αγίου Παντελεήμονα.

Figure 4. Image of the thermal channel 77 of DAIS during the pre-dawn overflight (26-8-1998).



Στο ορατό-ανακλώμενο υπέρυθρο μέρος του φάσματος εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι επεξεργασίας με την εξής σειρά: α) φιλτράρισμα του φάσματος με ένα φίλτρο χαμηλής διαβάσεως για την αφαίρεση γραμμικού θορύβου β) μετασχηματισμό της

εικόνας ανακλαστικότητας σε παράγωγα φάσματος γ) εφαρμογή γραμμικού φασματικού διαχωρισμού (linear spectral unmixing) δ) ταξινόμηση της εικόνας με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά και ε) ανάκτηση των ποσοτικών παραμέτρων της εικόνας. Τα πρώτα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο καολινίτης απαντά ευρέως στη Δυτική Μήλο μαζί με ποσότητες αλουμίτη και μπεντονίτη. Στην περιοχή του Χονδρού Βουνού - Προφήτη Ηλία (εικόνα 2) η εξαλλοίωση κυμαίνεται από αργιλική έως πυριτική και στον υψηλότερο βαθμό σχετίζεται με την ύπαρξη χαλαζιακών φλεβών, οι οποίες διατρέχουν το μητρικό πέτρωμα (ρυόλιθος) προς διάφορες διευθύνσεις. Προς το παρόν, οι φλέβες δεν εντοπίστηκαν στα δεδομένα του DAIS επειδή έχουν μήκος από μερικά μέτρα έως μερικές εκατοντάδες μέτρα και πάχος ένα έως πέντε (5) μέτρα, ενώ κατά θέσεις καλύπτονται και από χαμηλή βλάστηση. Ωστόσο, η επεξεργασία στο ανακλώμενο τμήμα του φάσματος δεν έχει ολοκληρωθεί, ενώ οι Ferrier et al., (2002) στη Λέσβο έχουν χαρτογραφήσει γραμμικές εμφανίσεις αλουμίτη με την τεχνική του γραμμικού φασματικού διαχωρισμού (linear spectral unmixing). Τέλος, ο καολινίτης απαντά σε ζωνώδη μορφή γύρω από το κοίτασμα σε άμεση σχέση με συγκεντρώσεις αιματίτη.

Όμως ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προκαταρκτική ανάλυση των θερμικών δεδομένων (8-14 μικρόμετρα) του DAIS (εικόνα 4), όπου και εντοπίστηκαν οι θέσεις των εξαλλοιωμένων πετρωμάτων με κύρια ορυκτά τον αλουμίτη, καολινίτη και μοντιμοριλλονίτη στις κορυφές του Προφήτη Ηλία και Χονδρού Βουνού (ράχη Αμέθυστος στους γεωλογικούς χάρτες 1:5.000). Η καλύτερη ποιότητα των δεδομένων περιέχεται στο κανάλι 77 (11.2 μm , εικόνα 7) της προ-της-αυγής διελεύσεως του DAIS (26 Αυγούστου 1998). Το κανάλι 79 φέρει αρκετό θόρυβο σε αμφότερες τις εικόνες, όπως βρήκαν και οι Coll et al., (2000) και δεν χρησιμοποιήθηκε περαιτέρω. Στην εικόνα 4 οι σκούρες περιοχές είναι ψυχρές και οι περιοχές με ανοιχτό τεφρό χρώμα είναι οι θερμότερες, αντίστοιχα. Γενικά, διαπιστώνεται η επίδραση της επιφανειακής υγρασίας στην καταγραφόμενη θερμική ροή από το έδαφος της δυτικής Μήλου. Ωστόσο, διακρίνονται και λιθολογικά όρια βόρεια του λόφου του Προφήτη Ηλία με τις ανδευσιτικές λάβες να είναι θερμότερες των πλευρικών κορημάτων.

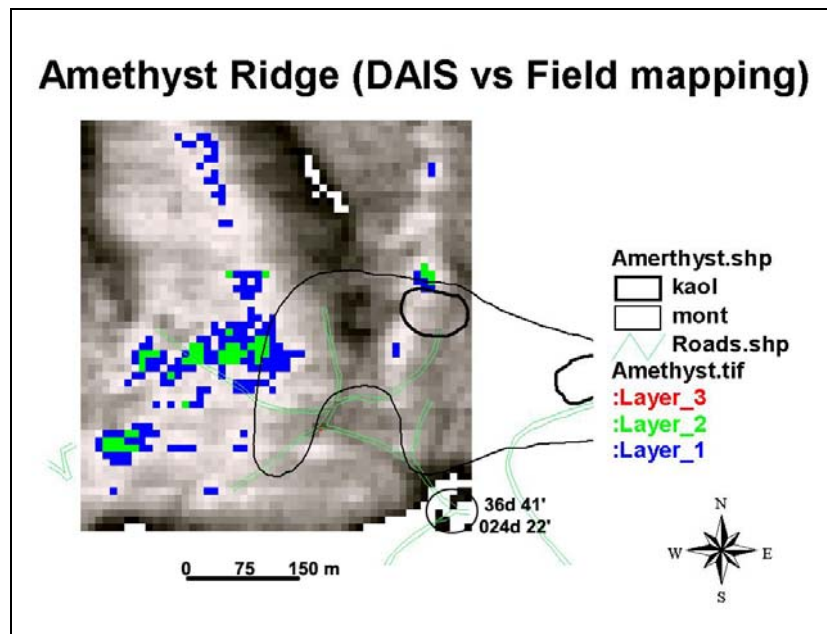
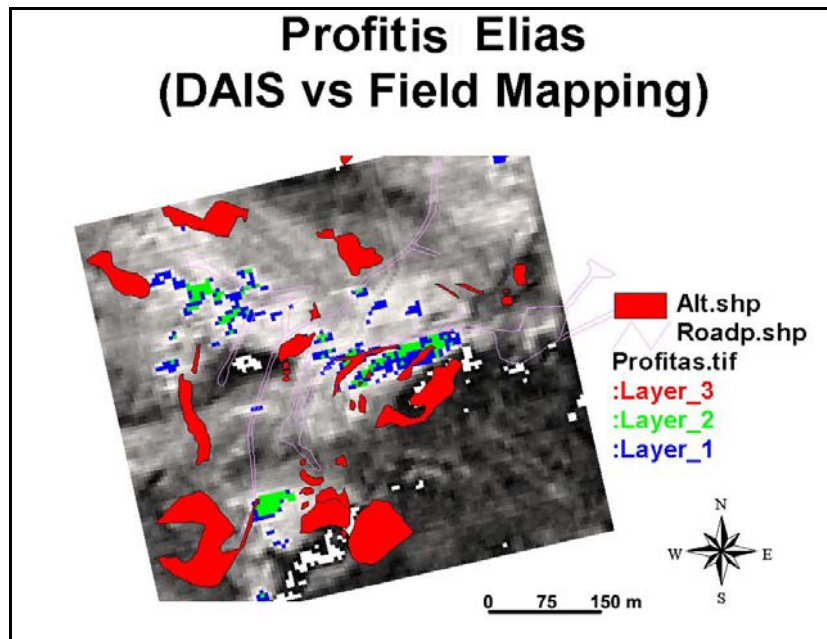
Κατά την ψηφιακή επεξεργασία ευρέθη ότι η αποτελεσματικότερη μέθοδος είναι η τεχνική MNF (Minimum Noise Fraction), η οποία είναι μία παραλλαγή της μεθόδου των κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis) στην οποία διαχωρίζονται επαρκώς τα δομικά χαρακτηριστικά της ραδιομετρίας συνολικά για τις πέντε μπάντες (74 έως 78). Τα νέα κανάλια (συνιστώσες MNF) είναι τα μετασχηματισμένα κανάλια στο θερμικό με ολόενα και μικρότερο λόγο SNR. Μία από τις συνιστώσες MNF απεικονίζει τα εξαλλοιωμένα πετρώματα (π.χ. η περιοχή του Προφήτη Ηλία στην εικόνα 5 πάνω): τα πράσινα pixels (διαστάσεις 10 x 10 μέτρα), τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη απορρόφηση στο θερμικό υπέρυθρο (υψηλότερος βαθμός εξαλλοιώσεως), ενώ τα μπλε pixels από μεγάλη απορρόφηση (μεσαίος βαθμός). Τα πράσινα pixels αντιπροσωπεύουν πετρώματα πλούσια σε αλουμίτη, καολινίτη ενώ τα μπλε pixels αντιπροσωπεύουν περιοχές με μοντιμοριλλονίτη. Όλα τα pixels έχουν υψηλές τιμές λαμπρότητας σε σχέση με pixels του μητρικού πετρώματος (ρυόλιθοι) που εμφανίζονται σκουρότερα. Με κόκκινο χρώμα διακρίνονται εκτάσεις, όπου απαντά η πυριτιωμένη ζώνη εξαλλοιώσεως (η εσωτερικότερη ζώνη), σύμφωνα με τους γεωλόγους της εταιρίας ΜΙΔΑΣ ΑΕ. Διαπιστώνεται, ότι πολλά pixels με αργιλικά ορυκτά απαντούν ενδιάμεσα στις ήδη χαρτογραφημένες ζώνες, ενώ παρατηρείται και ορισμένη γραμμική διάταξη στο μέσον της περιοχής μελέτης.

Στη δυτικότερη ράχη αυτής του Προφήτη Ηλία, δηλαδή στο Χονδρό Βουνό (Amethyst Ridge -Εικόνα 2), χαρτογραφήθηκαν επίσης ζώνες εξαλλοιώσεως εντός και εκτός των ορίων που χαράσσονται σε γεωλογικούς χάρτες (Εικόνα 5 κάτω). Οι περιοχές με pixels διαγνωστικών ορυκτών έχουν υψηλές τιμές λαμπρότητας στην εικόνα MNF. Κυριαρχούν τα μπλε pixels που αντιπροσωπεύουν περιοχές με μοντιμοριλλονίτη, ενώ απαντά και καολινίτης. Εδώ, η ζώνωση είναι πιο έντονη με τα πράσινα pixels να περικλείονται από μπλε pixels. Όμως, στην περιοχή αυτή τα περισσότερα pixels με αργιλικά ορυκτά απαντούν εκτός των ορίων της γεωλογικής χαρτογραφήσεως και πιο συγκεκριμένα προς τα δυτικά. Ενδεχομένως, αυτό να οφείλεται σε δύο παράγοντες: α) η γεωμετρική διόρθωση με πολυωνυμικό μετασχηματισμό να μην επαρκεί επειδή το ανάγλυφο είναι έντονο, οπότε επιβάλλεται

η ορθοδιόρθωση της εικόνας με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και β) ο γεωλογικός χάρτης να μην έχει εντοπίσει τις δυτικότερες εμφανίσεις εξαλλοιώσεων στο Χονδρό Βουνό.

Εικόνα 5. Χάρτης ζωνών εξαλλοιώσεως στον λόφο του Προφήτη Ηλία (άνω) και Χονδρό Βουνό (κάτω). Στον Προφήτη Ηλία με κόκκινα πολύγωνα σημειώνονται οι χαρτογραφημένες θέσεις ζωνών εξαλλοιώσεως (ground truth). Στην ράχη Αμέθυστου με μαύρο χρώμα σημειώνονται τα όρια της εξαλλοιώσεως (ground truth). Μέγεθος pixel 10 μέτρα. Με ιώδες (πράσινο) σημειώνεται το οδικό δίκτυο στον Προφήτη Ηλία και Χονδρό Βουνό, αντίστοιχα.

Figure 5. DAIS alteration maps of Profitis Elias and Chondro Vouno, western Milos. Mapped alteration zones in the field are depicted by red polygons (top) and black polylines (bottom). Pixel size 10-metres.



4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εργασία αυτή επιβεβαιώνεται η δυνατότητα του υπερφασματικού σαρωτή DAIS να διακρίνει τα κυριότερα διαγνωστικά ορυκτά της αργίλου. Η προκαταρκτική, ψηφιακή ανάλυση των δεδομένων του DAIS στο θερμικό υπέρυθρο με την χρήση της τεχνικής MNF εντόπισε ορισμένες εξαλλοιωμένες ζώνες των ηφαιστειακών πετρωμάτων (ρυόλιθοι και ρυοδακίτες) σε περιοχές, όπου υφιστάμενοι γεωλογικοί χάρτες τις αναφέρουν στη Δυτική Μήλο. Αναλυτικότερα, η ποσοτική ανάλυση των φασμάτων υπαίθρου απέδειξε την ύπαρξη καολινίτη, αλουνίτη και μοντιμοριλλονίτη στην ευρύτερη περιοχή του λόφου του Προφήτη Ηλία σε συμφωνία με την γεωλογική χαρτογράφηση. Προτείνεται η περαιτέρω εφαρμογή των δεδομένων αυτού του σαρωτή σε άλλες περιοχές της Ελλάδας με επιθερμική μεταλλοφορία.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε το ΓΕΕΘΑ, το ΓΕΑ και τη ΓΥΣ για την έγκριση των σχεδίων πτήσεως στον ελληνικό εναέριο χώρο. Η χρήση του DAIS χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Τέταρτο Πρόγραμμα Πλαίσιο) και το Αγγλικό NERC, ενώ υποστηρίχθηκε και από την ΜΙΔΑΣ ΑΕ. Επίσης, η εργασία υπαίθρου στην Μήλο ωφελήθηκε από τις παρατηρήσεις της κ. Μάρθας Στεφούλη, του κ. Χελιώτη, του κ. Σίμου και του κ. Πετράκη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Adams, J.B., Smith, M.O., and Gillespie, A. R., 1993. Imaging spectroscopy: Interpretation based on spectral mixture analysis. In: *Remote geochemical analysis, Elemental and mineralogical composition*, edited by C.M. Pieters and P.A.J., Englert (New York, Cambridge University Press), pp. 145-166.
- [2] Berger, M., Rast, M., Wursteisen, P., Attema, E., Moreno, J., Muller, A., Beisl, U., Richter, R., Schaepman, M., Strub, G., Stoll, M. P., Nerry, F., and Leroy, M., 2001. The DAISEX campaigns in support of a future land-surface-processes mission. *ESA Bulletin*, 105, 101-111.
- [3] Coll, C., Caselles, V., Rubio, E., Sospedra, F., Valor, E., 2000. Temperature and emissivity separation from calibrated data of the Digital Airborne Imaging Spectrometer. *Remote Sensing of Environment*, 76, 250-259.
- [4] Ferrier, G., White, K., Griffiths, G., Bryant, R., and Stefouli, M., 2002. The mapping of hydrothermal alteration zones on the island of Lesbos, Greece using an integrated remote sensing dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 341-356.
- [5] Ferrier, G., and Ganas, A., 2000. Application of airborne hyperspectral data in the mapping of alteration zones associated with gold mineralisation on the island of Milos, Greece. In *Proceedings of the Second EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, 11-13 July 2000, the Netherlands.
- [6] Ferrier, G., and Wadge, G., 1996, The application of imaging spectroscopy data in mapping hydrous pathfinder minerals associated with gold mineralisation in southern Spain, *International Journal of Remote Sensing*, 17, 331 - 350.
- [7] Fytikas, M., 1977. Geological and Geothermal study of Milos Island. IGMR, vol. XVII, no1, 228 p., Athens.
- [8] Reinhäckel, G., and Krüger, G., 1998. Combined use of laboratory and airborne spectrometry from the reflective to thermal wavelength range for a quantitative analysis of lignite overburden dumps. Proc. 27th Intern. Symp. on Rem. Sens. of Environment, Trømsø, Norway, June 1998, p. 507-512.