Bulletin of the Geological Society of Greece

Special Publication No 13, 2025

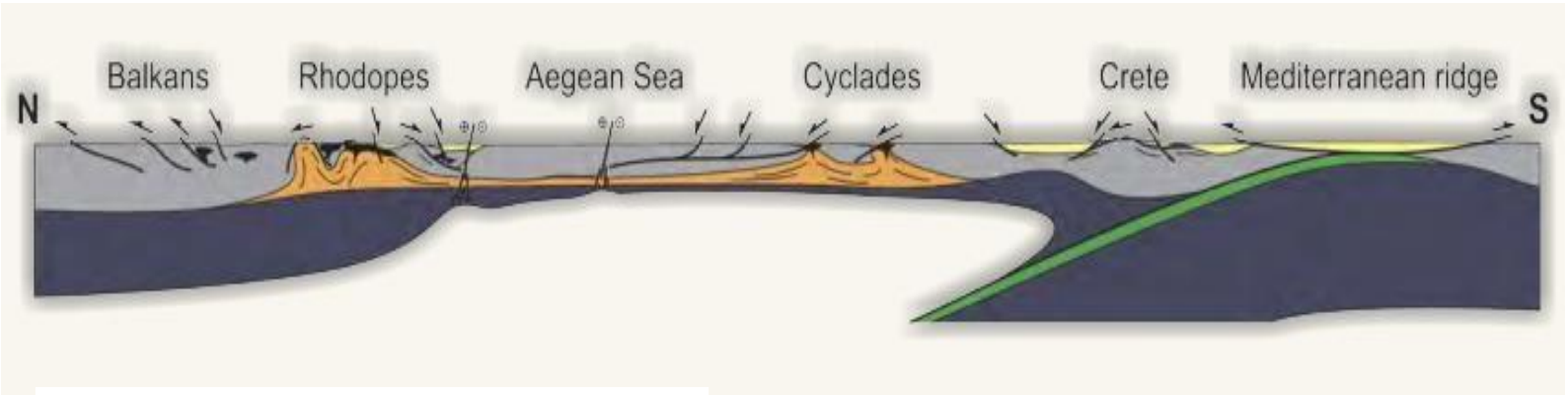
TECTONICS AND STRUCTURAL GEOLOGY COMMITEE OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE

Proceedings

OF THE 1ST Tectonics and Structural Geology Meeting

6 December 2016 | "Leon. Zervas" Auditorium |

National Research Foundation - Athens, Greece



Bulletin of the Geological Society
Special Publication No. 13, 2025
Publisher: Geological Society of Greece
ISBN (print) 978-618-86841-2-6
ISBN (e-book) 978-618-86841-3-3

Sponsored by: National Observatory of Athens

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

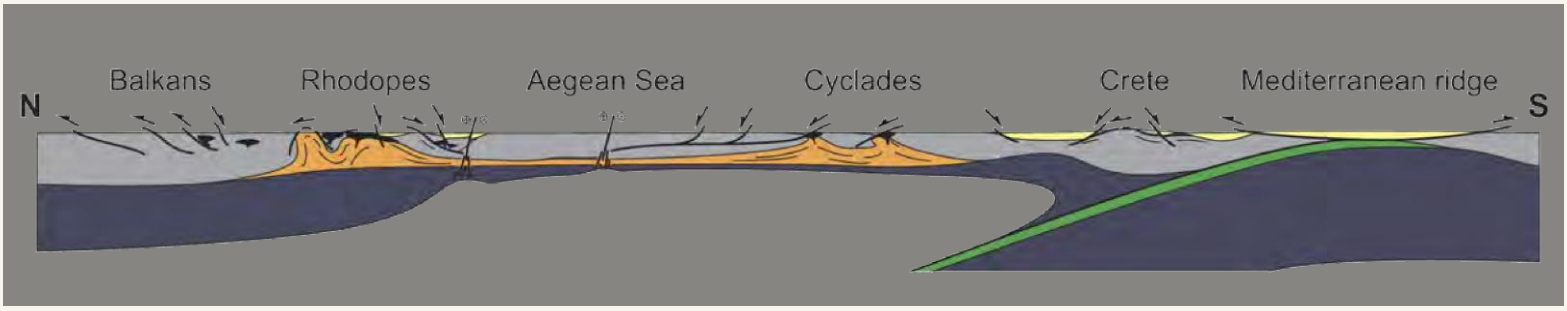
TECTONICS AND STRUCTURAL GEOLOGY COMMITEE
OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE

1η Ημερίδα Τεκτονικής Γεωλογίας
1st Tectonics and Structural Geology Meeting

Τρίτη, 6 Δεκεμβρίου 2016
Tuesday, 6 December 2016

| Αμφιθέατρο «Λεων. Ζέρβας» | Εθνικο Ίδρυμα Ερευνών |
| "Leon. Zervas" Auditorium | National Research Foundation |

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
PROCEEDINGS



Χορηγός: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
Sponsored by: National Observatory of Athens

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

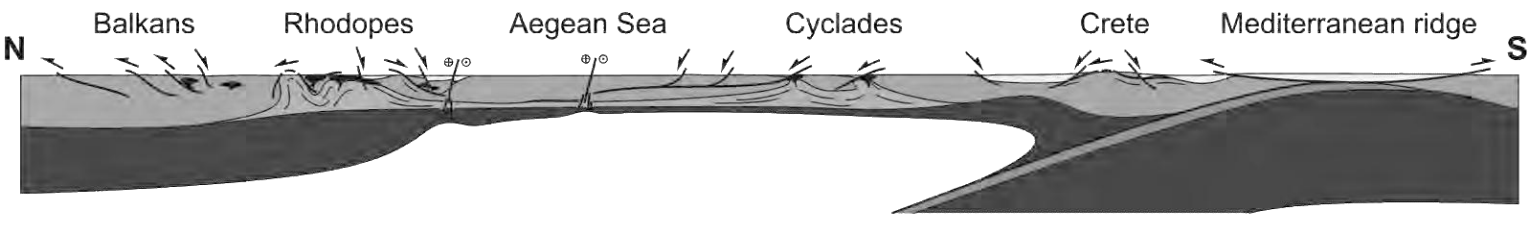
TECTONICS AND STRUCTURAL GEOLOGY COMMITEE
OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE

1η Ημερίδα Τεκτονικής Γεωλογίας
1st Tectonics and Structural Geology Meeting

Τρίτη, 6 Δεκεμβρίου 2016
Tuesday, 6 December 2016

| Αμφιθέατρο «Λεων. Ζέρβας» | Εθνικο Ίδρυμα Ερευνών |
| "Leon. Zervas" Auditorium | National Research Foundation |

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
PROCEEDINGS



Χορηγός: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
Sponsored by: National Observatory of Athens

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ

ΕΚΤΕΛΕΣΤΙΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ

ΠΡΟΕΔΡΟΣ
Αθανάσιος ΓΚΑΝΑΣ

ΟΙΚΟΝ. ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ
Εμμανουήλ ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ

ΜΕΛΗ:
Χαράλαμπος ΚΡΑΝΗΣ
Στυλιανός ΛΟΖΙΟΣ
Κωνσταντίνος ΣΟΥΚΗΣ

ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ 1ης ΗΜΕΡΙΔΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΕΔΡΟΣ
Αθανάσιος ΓΚΑΝΑΣ, Διευθυντής Ερευνών, Γ.Ι. Ε.Α.Α.

ΑΝΤΙΠΡΟΕΔΡΟΣ
Χαράλαμπος ΚΡΑΝΗΣ, ΕΔΙΠ, Ε.Κ.ΠΑ.

ΜΕΛΗ
Ιωάννης ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑΣ, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών
Αλέξανδρος ΧΑΤΖΗΠΕΤΡΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής, Α.Π.Θ.
Στέλιος ΛΟΖΙΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής, Ε.Κ.Π.Α.
Εμμανουήλ ΣΚΟΥΡΤΣΟΣ, Ε.ΔΙ.Π., Ε.Κ.Π.Α.
Κωνσταντίνος ΣΟΥΚΗΣ, Ε.ΔΙ.Π., Ε.Κ.Π.Α.

Επιμέλεια σύνταξης τόμου περιλήψεων:
Χαράλαμπος ΚΡΑΝΗΣ, ΕΔΙΠ, Ε.Κ.ΠΑ.
Γεωργία ΤΡΙΚΑΛΙΝΟΥ, Ε.Κ.Π.Α.
Βαρβάρα ΤΣΙΡΩΝΗ, Ε.Κ.Π.Α.

Γραμματεία Ημερίδας και Ομάδας Υποστήριξης:
Παναγιώτα ΑΝΝΙΝΟΥ, Ε.Κ.Π.Α.
Βέρα ΚΑΤΡΑΝΙΔΟΥ, Ε.Κ.Π.Α.
Γιώργος ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ, Ε.Κ.Π.Α.
Μαρίνα ΠΟΤΑΜΙΑΝΟΥ, Ε.Κ.Π.Α.

ΧΟΡΗΓΟΣ ΗΜΕΡΙΔΑΣ
ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

TECTONICS AND STRUCTURAL GEOLOGY COMMITTEE OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREEECE

EXECUTIVE BOARD

PRESIDENT
Athanassios GANAS

FINANCE OFFICER
Emmanuel SKOURTSOS

MEMBERS
Haralambos KRANIS
Stylianos LOZIOS
Konstantinos SOUKIS

ORGANIZING COMMITTEE OF THE 1ST TSG MEETING

PRESIDENT
Dr. Athanassios GANAS, Research Director, G.I., N.O.A.

VICE-PRESIDENT
Dr. Haralambos KRANIS, National and Kapodistrian University of Athens

MEMBERS
Prof. Ioannis KOUKOUVELAS, Professor, University of Patras
As. Prof. Alexandros CHATZIPETROS, Assistant Professor, University of Thessaloniki.Π.Θ.
As. Prof. Stylianos LOZIOS, National and Kapodistrian University of Athens
Dr. Emmanuel SKOURTSOS, National and Kapodistrian University of Athens
Dr. Konstantinos SOUKIS, National and Kapodistrian University of Athens

Compilation of Abstracts Volume:
Dr. Haralambos KRANIS, National and Kapodistrian University of Athens
Georgia TRIKALINOU, National and Kapodistrian University of Athens
Varvara TSIRONI, National and Kapodistrian University of Athens

Meeting Secretariat and Support Team:
Panagiota ANNINOU, National and Kapodistrian University of Athens
Vera KATRANIDOU, National and Kapodistrian University of Athens
George PAPANTONIOU, National and Kapodistrian University of Athens
Marina POTAMIANOY, National and Kapodistrian University of Athens

MEETING SPONSOR
NATIONAL OBSERVATORY OF ATHENS

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ | CONTENTS

Laurent Jolivet: Aegean tectonics and subduction dynamics [INVITED LECTURE] 1

I. Aravantinou, P. Xypolias, V. Hatzaras, I. Iliopoulos, and N. Gerogiannis: Ductile nappe stacking and refolding in Cycladic Blueschist Unit (Sifnos Island, SW Cyclades) 2

Al. Chatzipetros and Ch. Stergiou: Morphotectonic indications of uplift from the Vikos Gorge area using UAV: Preliminary results 4

M. Chatzopoulou, Al. Chatzipetros, Sp. Pavlides, and M. Tranos: Morphotectonic study of north rift margin of serres basin 7

I. Fountoulakis, I. Spiggos, G. Kaviris and P. Papadimitriou: Preliminary results of the upper mantle properties investigation beneath Greece through SKS splitting analysis 9

Ath. Ganas, P. Briole, P. Elias, P. Argyrakis, Ev. Mendonidis and M. Papanikolaou: Postseismic deformation following the M6.5 Lefkada earthquake (17 November 2015), Ionian Sea, Greece 11

K. N. Georgiou, X. Dimas, S. Sergiou, D. Christodoulou, G. Papatheodorou and G. Ferentinos: Fault geometry and kinematics at the termination of the north anatolian fault: sporades basin and surrouding area, north aegean sea, eastern mediterranean 13

G. Grammenidis, H. Kranis, and D. Sakellariou: The Melouna Fault: an active strike-slip structure in the North Gulf of Evia 16

A. Karakonstantis, I. Kassaras, V. Kapetanidis, P. Papadimitriou and Ath. Ganas: Insights on the geodynamics of western Greece deduced from 3-D stress tensor inversion and traveltime tomography 18

I. Karamitros, Al. Chatzipetros, Sp. Pavlides, A. Mouratidis, Ath. Ganas, I. Koukouvelas and V. Zygouri: Survey and geometrical analysis of the Pidima fault plane (Messinia, SW Greece), using Terrestrial Laser Scanner 20

S. Kotsirea, D. Baroutsos, M. Stika, V. Giannopoulos, K. Soukis, E. Skourtsos and S. Lozios: The post-orogenic exhumation of the phyllite-quartzite unit in south-central crete, Greece 23

S. Laskari, K. Soukis, S. Lozios and D. Stockli: LA-ICP-MS U-Pb detrital zircon dating of the Cycladic Blueschist Unit on Heraklia Island (south Cyclades, Aegean, Greece) 25

G. Lazaridis: Structural control of Perama Cave (Ioannina, W. Greece) 27

Il. Lazos and Al. Chatzipetros: Determination of Individual Neotectonic Blocks Using the Terrain Ruggedness Index (TRI): Application to the Heraklion Basin, Crete Island 29

S. Lekkas, K. Soukis, S. Seman, D. Stockli, E. Skourtsos, H. Kranis, S. Lozios and A. Alexopoulos: Middle to Late Miocene tectonothermal evolution of South Attica, Greece 31

E. Manoutsouglou, N. Spanoudakis, M. Amvrazis, E. Smpokos, K. Boutsakis, A. Agrimaki, E. Steiakakis and K. Voudouris: Neotectonic activity and potential geothermal fields in Crete 33

Ch. Millas, I. Spiggos., G. Kaviris, V. Kapetanidis, A. Karakonstantis, P. Papadimitriou, N. Voulgaris, and K. Makropoulos: Shear-wave splitting parameters determination in the W. Gulf of Corinth during 2014 35

A. Moschou, E. Kolia and I. Koukouvelas: Archaeoseismic evidence of two Hellenistic earthquakes at the Giannia settlement (coastal locality of the Gulf of Corinth) and its relation with the Helike Fault 37

V. Mouslopoulou, O. Oncken, A. Nicol, S. Hainzl, M. Moreno and J. Begg: Clusters of megaearthquakes on upper-plate faults produce transient uplift along the Hellenic subduction margin: how global is this phenomenon? 39

P. Nomikou, E. Hooft, D. Toomey, D. Lampridou, C. Getz, M.E. Christopoulou, Dan O'Hara, G. Arnoux, M. Bodmer, M. Gray, B. Heath and B. VanderBeek: Seafloor morphology formed by tectonism, volcanism, and mass wasting in the Christianna-Santorini-Amorgos region of the Hellenic Volcanic Arc 42

G. Panoutsopoulos, H. Kranis, E. Skourtsos, R. Gawthorpe, and J. Andrews: Upper Quaternary uplift rates at the central part of the Gulf of Corinth, Greece 44

D. Papanikolaou: Diversified Permo-Triassic environments below the External Carbonate Platform of the Hellenides..... 47

D. Papanikolaou, P. Nomikou, D. Lampridou, G. Rousakis, M. Alexandri, I. Papanikolaou and G.P. Farangitakis: Active Tectonics and Seismic Hazard in Skyros Basin, North Aegean Sea, Greece 49

Sp. Pavlides, Ath. Ganas, G. Papathanasiou, S. Valkaniotis, E. Thomaidou, G. Georgiadis, S. Sboras and Al. Chatzipetros: Geological-Seismotectonic Study of the wider area of Ioannina (seismic region of the earthquake October 15, 2016) 52

Sp. Pavlides, Al. Chatzipetros, G. Papathanasiou, G. Georgiadis, S. Valkaniotis and S. Sboras: ground deformation of the 24/8 And 26-30/10/2016 Amatrice-Vettore-Norcia earthquakes (Central Italy) 54

A. Provias, K. Soukis, E. Skourtsos, S. Lozios and A. Alexopoulos: The upper plate of the Cretan Detachment in central Rethymnon Crete: structure and kinematics 56

Ph. Sakellaropoulos, E. Vasilakis and S. Lozios: Morphotectonic study of Aghioi Apostoli-Varnavas NE Attica 58

E. Simou, P. Nomikou, D. Papanikolaou, V. Lykousis: Geomorphic evidence of active tectonic deformation on the SW Gulf of Corinth, resulting from combined onshore and offshore data 60

M. Tranos, Em. Vassilakis and S. Tzigkalidou: The international congresses of the Geological Society of Greece and their role on the basic geological and tectonic research the last 35-years 62

M. Tranos and Sp. Pavlides: The seismogenic fault of the 2016 Ioannina moderate-size earthquake sequence (Epirus, Western Greece) 64

K. Tsampouraki – Kraounaki and D. Sakellariou: Offshore faulting in the Aegean Sea and implications for fault kinematics and Plio-Quaternary deformation..... 67

A. Tzanis, A. Efstathiou, S. Chailas, and M. Stamatakis: Evidence of deep magmatic activity in the broader area of the argolid, greece, and its relationship to regional tectonics 70

A. Varnava, A. Kilias, Al. Chatzipetros and Sp. Pavlides: Structural analysis of the broader area of the Gerasa and Arakapas faults, SW Cyprus..... 73

Eir. Zananiri, D. Sakellariou, E. Zimianitis, I. Vakalas, P. Drakopoulos, C. Kuriakidou and G. Rousakis: EMODNET as a pan-European marine data infrastructure: the Hellenic participation in EMODNET-geology..... 76

A. Zavitsanou and D. Sakellariou: Interaction of active tectonics and sea level fluctuations in the Aegean 78

V. Zygouri: The 1913 catastrophic landslide event of Krathis River, NE Achaia, Greece 81

Author Index.....84

INVITED LECTURE

AEGEAN TECTONICS AND SUBDUCTION DYNAMICS

Laurent Jolivet

Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), Université d'Orléans, France

Abstract

The apparent complexity of the tectonic evolution of the Aegean region can be explained to the first order by changing dynamics of the Hellenic subduction. The formation and later collapse of the Hellenides, followed by the localization of the North Anatolian Fault, all result from the subduction of a single lithosphere, the African lithosphere, carrying a succession of oceanic and continental domains since the Late Cretaceous. After an episode of crustal thickening at the expense of the subducting Apulian continental domain and formation and partial exhumation of the Cycladic Blueschists, fast slab retreat led to the collapse of the belt and formation of metamorphic core complexes (MCC) below large-scale detachments, such as the North Cycladic Detachment System during crustal thinning in the back-arc region. The kinematic evolution of this region and the succession of exhumation episodes, first HP-LT then HT-LP MCC, as well as the distribution of magmatic and ore bodies, can be explained by an evolving configuration of the subduction zone. Slab tearing and changing velocity of retreat modify the interactions between the crust and the asthenospheric mantle flowing underneath and thus the pattern of deformation in the crust/lithosphere, the distribution and typology of magmatism and metallic resources. We illustrate this coupling between deep mantle dynamics and crustal evolution by summarizing our field observations in the Cyclades, Menderes Massif, Crete and the Peloponnese, coupled with detailed kinematic reconstructions and 3D high-resolution numerical models.

DUCTILE NAPPE STACKING AND REFOLDING IN CYCLADIC BLUESCHIST UNIT (SIFNOS ISLAND, SW CYCLADES)*

I. Aravantinou[1], P. Xypolias[1], V. Hatzaras[2], I. Iliopoulos[1], and N. Gerogiannis[1]

[1] Department of Geology, University of Patras, 26500 Rion Patras, Greece (aravantinoue@upatras.gr)
[2] Department of Earth Sciences, Utrecht University, PO Box 80.021, 3508 TA Utrecht, The Netherlands

Περίληψη

Η Σίφνος αποτελεί μία από τις καλύτερα διατηρημένες εμφανίσεις της ενότητας των Κυανοσχιστολίθων (εκλογιτών και γλαυκοφανιτών). Η εύρεση τέτοιων διατηρημένων πετρωμάτων είναι σημαντική διότι αυτά τα πετρώματα συγκρατούν στοιχεία παραμόρφωσης από τα βαθύτερα τμήματα του ορογενούς, κατά το στάδιο της καταβύθισής τους. Προκειμένου να ερευνηθεί η παραμορφωτική ιστορία της ενότητας των Κυανοσχιστολίθων και η πορεία τους μέσα στο κανάλι καταβύθισης πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση, συστηματική κινηματική ανάλυση καθώς επίσης και χημική ανάλυση αμφιβόλων. Η έρευνα μας επικεντρώθηκε στη Βόρεια Σίφνο για την οποία κατασκευάστηκε ένας νέος γεωλογικός-τεκτονικός χάρτης. Κατά τη διάρκεια της υπαίθριας εργασίας, η Βόρεια Σίφνος χωρίστηκε σε δύο κύριες ενότητες, τις ενότητες των Μαρμάρων και των Μετα-ηφαιστειο-ιζηματογενών πετρωμάτων. Η ενότητα Μαρμάρων αποτελείται από ασβεστιτικά και δολομιτικά μάρμαρα ενώ η Μετα-ηφαιστειοιζηματογενής ενότητα αποτελείται από συμπλέγματα γλαυκοφανιτών και όξινων ορθογνευσίων. Όσον αφορά την παραμορφωτική ιστορία της Βόρειας Σίφνου, αναγνωρίστηκαν τρεις κύριες φάσεις παραμόρφωσης (D1-D3). Η D1 φάση παραμόρφωσης χαρακτηρίζεται από την S1 φολίωση, η οποία διατηρείται ως εγκλείσματα σε γρανάτες ή εντοπίζεται ισοκλινώς πτυχωμένη και είναι διακριτή στις αρθρώσεις των F2 πτυχών. Η κύρια φάση πλαστικής παραμόρφωσης D2 φαίνεται να συνέβη στο Μέσο Ηώκαινο σύγχρονα με τις μέγιστες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (εκλογιτική-κυανοσχιστολιθική φάση) ή έστω λίγο μετά από αυτές και χαρακτηρίζεται από μια ΒΔ κλίνουσα S2 φολίωση. Στα επίπεδα της S2 φολίωσης φιλοξενείται L2 κρυσταλλική γράμμωση με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Οι F2 πτυχές είναι κυρίως ισοκλινείς έως κλειστές με διεύθυνση βύθισης των αξόνων τους ΔΒΔ έως ΒΒΔ. Επιπλέον, αυτό το στάδιο παραμόρφωσης σχετίζεται με ένα ΝΑ-διεύθυνσης συν-μεταμορφικό πλαστικό ρήγμα επωθητικού χαρακτήρα, το οποίο τοποθέτησε την Μετα-ηφαιστειο-ιζηματογενή ενότητα πάνω στην ενότητα των Μαρμάρων. Όσον αφορά την D3 φάση παραμόρφωσης, αυτή χαρακτηρίζεται από μια S3 φολίωση που κλίνει προς τα ΒΔ και φιλοξενεί μια L3 κρυσταλλική γράμμωση με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Οι άξονες των F3 πτυχών έχουν ΒΑ-ΝΔ και ταξινομούνται ως κυλινδρικές ή σχεδόν κυλινδρικές, ισοκλινείς έως ανοιχτές και κεκλιμένες έως ανεστραμμένες. Επιπλέον, χαρακτηριστικό αυτής της φάσης είναι και η παρουσία πλαστικών ζωνών διάτμησης ΒΑ κίνησης, οι οποίες σχηματίζονται παράλληλα στα αξονικά επίπεδα αυτών των πτυχών. Η ΒΑ αυτή κίνηση συνέβη σε συνθήκες κυανοσχιστολιθικής φάσης και συνεχίστηκε σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης κατά το Ανώτερο Ηώκαινο-Ολιγόκαινο, και προκάλεσε τον διπλασιασμό της προηγούμενης ακολουθίας. Συμπερασματικά, η μέχρι τώρα αντίληψη πως ο εκταφιασμός των πετρωμάτων γίνεται με την ανάπτυξη ρηγμάτων σε καθεστώς διαστολής δεν μπορεί να εξηγήσει τις δομές που παρατηρήθηκαν στη Βόρεια Σίφνο. Προτείνουμε ότι ο μηχανισμός της πλαστικής διαφυγής σε ένα περιβάλλον συμπίεσης μπορεί να εξηγήσει καλύτερα τον εκταφιασμό των πετρωμάτων στην περιοχή αυτή. Επιπλέον, τα αποτελέσματά μας που αφορούν στην κινηματική, σε συνδυασμό με προηγούμενες εργασίες για τις Κυκλάδες, αποκαλύπτουν μια ευρύτερης κλίμακας αλλαγή στην διεύθυνση της κίνησης από (Δ)ΒΔ-(Α)ΝΑ

Αραβαντινού, Ε., και συν.: Πλαστική λεπίωση και επαναπτύχωση στην Κυανοσχιστολιθική Κυκλαδική ενότητα (Σίφνος, ΝΔ Κυκλάδες).

στο Ανώτερο Κρητιδικό-Μέσο Ηώκαινο, σε (Α)ΒΑ-(Δ)ΝΔ στο Ανώτερο Ηώκαινο-Ολιγόκαινο. Η παρατηρούμενη αυτή αλλαγή μπορεί να οφείλεται σε αλλαγές στη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και στη σχετική κίνηση της Αφρικής σε σχέση με την Ευρώπη κατά την Αλπική ορογένεση.

Abstract

New geological and structural mapping combined with kinematic and amphibole chemistry analyses are used to investigate the deformation history of the Cycladic Blueschist Unit (CBU) on Sifnos Island (Cyclades, Aegean Sea). We concentrate on north Sifnos, an area characterized by exceptionally well-preserved eclogites and blueschists. Our data show that the early, main phase (D2) of ductile deformation in the CBU, occurred synchronous with the transition from prograde to close-to-peak retrograde conditions. This deformation phase took place at middle Eocene and is related to ESE-directed thrusting that emplaced the meta-volcano-sedimentary (MVS) subunit over the Marble subunit. The subsequent exhumation-related (D3) deformation is characterized by gently NE-plunging folds and NE-directed contractional shear zones that formed parallel to the axial planes of folds. NE-directed shearing occurred under blueschist and transitional blueschist/greenschists facies conditions during late Eocene – Oligocene. NE-directed shearing caused the re-stacking of the early nappe pile bringing the Marble over the MVS subunit. We suggest that a mechanism of ductile extrusion of the CBU in a tectonic setting of net compression could explain better the recorded exhumation-related deformation than a mechanism of syn- and post-orogenic extension. Our new kinematic results in combination with previous works in the Cyclades area reveal a regional scale change in tectonic transport direction from (W)NW-(E)SE at Late Cretaceous-middle Eocene to (E)NE-(W)SW at late Eocene-Oligocene times. The observed change in transport direction may be governed by the relative motion of Africa with respect to Europe during Alpine orogeny.

Acknowledgements

This work was supported by Grant E045 from the Research Committee of the University of Patras, Programme K. Karatheodori).

MORPHOTECTONIC INDICATIONS OF UPLIFT FROM THE VIKOS GORGE AREA USING UAV: PRELIMINARY RESULTS*

Al. Chatzipetros and Ch. Stergiou

Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece (ac@auth.gr, christer@geo.auth.gr)

Περίληψη

Η περιοχή της Χαράδρας του Βίκου εντοπίζεται σε απόσταση 32 km ΒΒΔ της πόλης των Ιωαννίνων και 20 km Ν της ελληνοαλβανικής μεθορίου. Το μήκος της χαράδρας υπολογίζεται περίπου στα 10 km, ενώ το συνολικό μήκος του φαραγγιού μαζί με τους κλάδους ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης (Βικάκι και Μέγας Λάκκος) ξεπερνά τα 20 km. Το αντίκλινο του όρους Τύμφη (ή Γκαμήλα) αποτελεί το γεωλογικό υπό-βαθρο της χαράδρας στο οποίο αυτή αναπτύσσεται από τα ΝΝΑ προς ΒΒΔ. Κατά τόπους οι έως και αρνητικής γωνίας κλίσης ορθοπλαγιές της χαράδρας ξεπερνούν σε ύψος τα 800 m, ενώ το πλάτος αυτής στα σημεία αυτά δεν ξεπερνά τα 1100 m, γεγονός που την κατατάσσει ως την βαθύτερη χαράδρα στον κόσμο σε σχέση με το πλάτος της. Ο ποταμός Βοϊδομάτης διατρέχει την Κάτω Λεκάνη της Χαρά-δρας του Βίκου διασχίζοντας τμήμα του Εθνικού Δρυμού Βίκου-Αώου. Χαρακτηρίζεται από χαλικόστρωτη κοίτη και απότομες γωνίες κλίσης, ενώ αποστραγγίζει μια λεκάνη απορροής έκτασης 384 km2. Ο ποταμός αφού διανύσει 15 km προς τα ΒΔ διαμέσου του όρους Τύμφη ενώνεται με τον ποταμό Αώο. Η λεκάνη απορροής του Αώου χωρίζεται σε 5 υπολεκάνες, οι οποίες αναπτύσσονται σε διαφορετικά γεωλογικά υπόβαθρα, τα οποία ορίζουν το είδος της ροής του, καθώς και την ποιότητα και την ποσότητα των υλικών που μεταφέρει. Οι δυο εξ αυτών των υπολεκανών - του φαραγγιού του Αώου και της λεκάνης της Κόνιτσας - καθώς και το ρήγμα της Κόνιτσας γειτνιάζουν στα Β και ΒΔ με το αντίκλινο της Τύμφης, με το ρήγμα να αποτελεί και όριο του αντίκλινου προς τα ΒΔ. Τέλος, το πλούσιο υδρολογικό δυναμικό της περιοχής και οι μεγάλοι όγκοι των ανθρακικών πετρωμάτων, έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός σύνθετου και πολύμορφου καρστικού μοτίβου διάβρωσης το οποίο περιλαμβάνει δομές όπως, δολίνες, βάραθρα (π.χ. Προβατίνα, Έπος), γλυφές και αμαξοτροχιές.

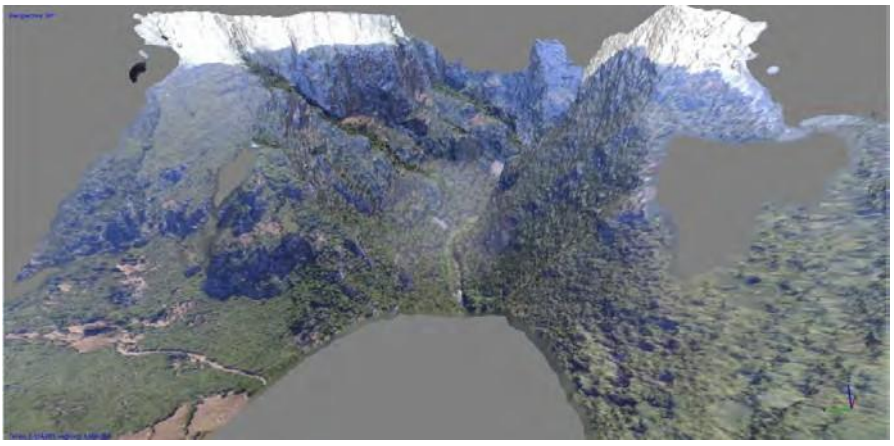
Στα βαθύτερα της Χαράδρας και σε πολύ μικρές εμφανίσεις εντοπίζονται δολομίτες τεφρού χρώματος Κρητιδικής ηλικίας τους οποίους διαδέχονται προς τα πάνω οι ασβεστόλιθοι της Βίγλας, οι οποίοι παρουσιάζει την μεγαλύτερη ανάπτυξη εντός της Χαράδρας ξεπερνώντας τα 700 m σε πάχος. Ακολουθεί η ανθρακική σειρά μέσου πάχους 200 m των ασβεστολίθων του Σενωνίου, ενώ την ανθρακική ακολουθία ολοκληρώνουν οι Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι με πάχος 415 m. Η ακολουθία του φλύσχη (Α. Ηώκαινο – Ακουιτάνιο) εντοπίζεται στα ψηλότερα της Χαράδρας και το πάχος της είναι περιορισμένο. Τη στρωματογραφική ακολουθία της Χαράδρας ολοκληρώνουν οι χαλαρές αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Πιο συγκεκριμένα, αποθέσεις λιθώνων, παλαιές κολλουβιακές αποθέσεις πλευρικών κορημάτων και ερυθροστρώματα, τα οποία διαδέχτηκαν οι σύγχρονες αποθέσεις κώνων κορημάτων και οι προσχώσεις ποτάμιας προέλευσης, περιγράφουν τα ιζήματα του Πλειστοκαίνου-Ολοκαίνου. Οι παγετώδεις αποθέσεις της Τύμφης εντοπίζονται στης κορυφές (λιθώνες κορυφής Γκαμήλα), στα οροπέδια της Τύμφης και στις ΝΑ παρυφές του όρους, καλύπτουν σημαντικές εκτάσεις και είναι αποτέλεσμα της τελευταίας παγετώδους περιόδου (Late Würmian).

Χατζηπέτρος Αλ. και συν: Μορφοτεκτονικές ενδειξεις τεκτονικής ανύψωσης της περιοχής της Χαράδρας του Βίκου με χρήση UAV: πρόδρομα αποτελέσματα.

Τουλάχιστον δυο φάσεις επέκτασης και υποχώρησης των παγετώνων προσ- διορίζονται σαφώς. Παλιές αμφιθεατρικές λεκάνες τροφοδοσίας και κοιλάδες με απότομα τοιχώματα σχήματος U εντοπίζονται στα οροπέδια της Τύμφης. Στα χαμηλότερα, εκτεταμένες ζώνες απόθεσης υλι- κών εντοπίζονται στα ανατολικά της Χαράδρας μεταξύ των χωριών Τσεπέλοβο και Σκαμνέλι. Οι κορυφές

κατά μήκος της Χαράδρας του Βίκου είναι ισχυρά διαμορφωμένες από τη δράση του παγετώνα και ευ- διάκριτες είναι - ειδικά στις ανατολικές ορθοπλαγιές της - οι καταλήξεις παλιών κοιλάδες τύπου U. Οι κοιλάδες αυτές (π.χ. Μέγας Λάκκος) αποτελούσαν διόδους μέσω των οποίων διέφευγε το νερό προς τα χαμηλότερα της Χαράδρας. Γεωμορφολογικές και ιζηματολογικές μελέτες δείχνουν ότι η Άνω Λεκάνη της Χαράδρας του Βίκου διαμορφώθηκε κυρίως κατά το τελευταίο στάδιο των παγετώνων. Χαρακτηριστικό κατάλοιπο της δράσης των παγετώνων αποτελεί η κρεμαστή κοιλάδα στην θέση Οξυά, στη δυτική πλευρά της Χαράδρας. Η έξοδος της κοιλάδας βρίσκεται περίπου 670 m ψηλότερα από την κοίτη. Σε αντίθεση κυρίαρχο ρόλο στην διαμόρφωση της Κάτω Λεκάνης της Χαράδρας του Βίκου και της νοτιότε- ρης περιοχής της πεδιάδας της Κόνιτσας διαδραματίζει η διαχρονική δράση του ποταμού Βοϊδομάτη.

Σε ότι αφορά την νέα τεκτονική της περιοχής, οι κύριες δομές είναι το ενεργό ρήγμα της Κόνιτσας, το οποίο πιθανώς συνδέεται με τη σεισμική ακολουθία του 1996, και το ρήγμα του Παπίγκου. Και τα δύο έχουν παράταξη ΒΑ-ΝΔ, ενώ το ρήγμα της Κόνιτσας παρουσιάζει εντυπωσιακή μορφολογία. Για να ελεγχθεί η επίδραση της νέας τεκτονικής στη διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής, βρίσκεται σε εξέλιξη ερευνητική εργασία για την λεπτομερή αποτύπωση συγκεκριμένων μορφοτεκτονικών χαρακτηριστικών της Χαράδρας, πρόδρομα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία. Πραγματοποιήθηκαν πτήσεις με τηλεχειριζόμενη μη επανδρωμένη πτητική μηχανή (UAV – drone) με στόχο τη συλλογή δεδομένων (φωτογραφιών) για την κατασκευή 3Δ μοντέλων συγκεκριμένων θέσεων ενδιαφέροντος. Οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν με φωτογραμμετρικό λογισμικό και παρήχθησαν 3Δ μοντέλα (Εικόνες 1 και 2), τα οποία γεωαναφέρθηκαν σε πραγματικές συντεταγμένες. Με βάση τα μοντέλα, μετρήθηκαν διάφορες μορφοτεκτονικές παράμετροι (π.χ. αναλογία βάθους προς πλάτος στην κύρια χαράδρα, στις δευτερεύουσες και σε ορισμένες κρεμαστές). Η προκαταρκτική τους ερμηνεία δείχνει ότι η νέα τεκτονική, και ειδικά οι ρηξιγενείς ζώνες Κόνιτσας και Παπίγκου, έχουν προκαλέσει την ανύψωση του ορεινού όγκου της Τύμφης μετά το τελευταίο παγετώδες μέγιστο (LGM), όπως φαίνεται από την εξέλιξη της διάβρωσης σε διάφορα σημεία (κοίτη, πρανή και κλάδοι) τόσο της Κάτω όσο και της Άνω Λεκάνης της Χαράδρας. Η έρευνα πρόκειται να συνεχιστεί με σκοπό τη συγκέντρωση περισσότερων ποσοτικών δεδομένων, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ενοποιημένο αρχείο παρατηρήσεων σε ολόκληρο το σύστημα.



Εικόνα 1. 3D μοντέλο της εξόδου της Χαράδρας στη λεκάνη της Κόνιτσας, της οποίας το ΝΑ περιθώριο ορίζεται από τη μεγάλη κανονική ρηξιγενή ζώνη της Κόνιτσας (αριστερό τμήμα της εικόνας).

Εικόνα 2. Παράδειγμα 3D μοντέλου αρχόμενης διάβρωσης στη ζώνη ενός ρήγματος στη θέση Μπελόη, στο βόρειο χείλος της Χαράδρας

Abstract

Vikos Gorge extends along the Tymfi Mountain at NW Greece. The Gorge area was extensively shaped by the Pleistocene-Holocene glaciations and tectonic settings. This paper presents for the first time the study of specific geomorphological features of the area using 3D modeling analysis. Primary data were collected by a remote controlled unmanned aerial vehicle (UAV-drone). Preliminary results indicate that the younger regional tectonic structures, such as the Konitsa and Papigo fault zones, have controlled the uplift of the Tymfi mountain massif following the Last Glacier Maximum. Future objective of this study is the development of a unified observation data set for the entire Tymfi and Vikos Gorge area.

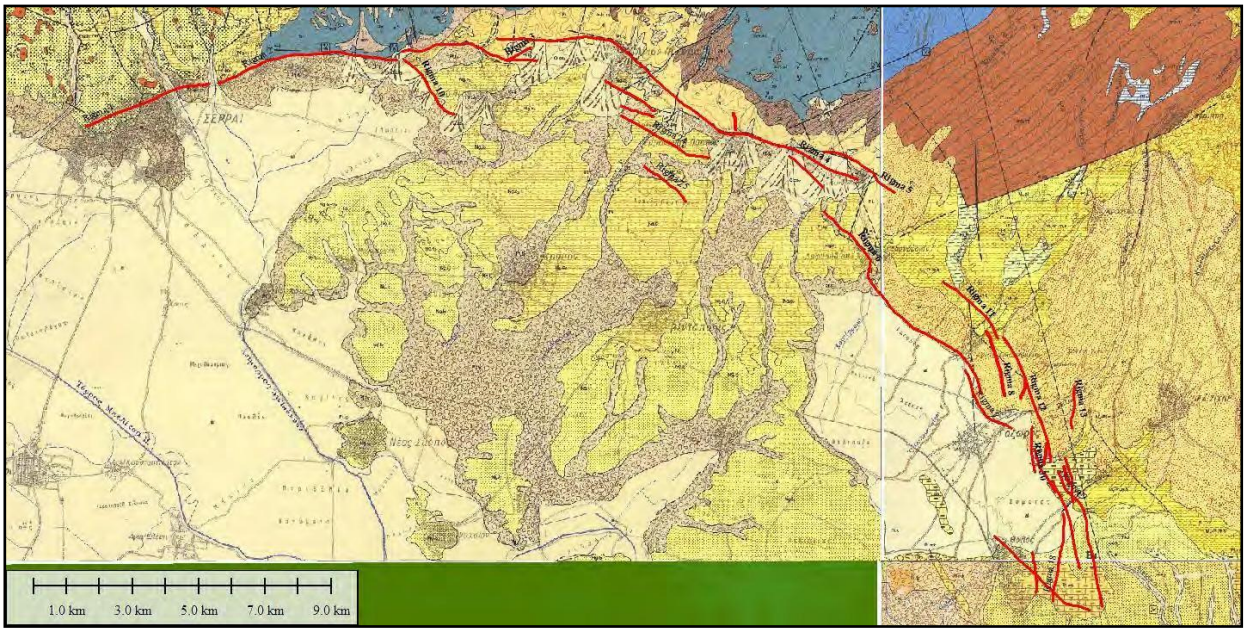
MORPHOTECTONIC STUDY OF NORTH RIFT MARGIN OF SERRES BASIN*

M. Chatzopoulou, Al. Chatzipetros, Sp. Pavlides, and M. Tranos

Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

Περίληψη

Στη εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μορφοτεκτονική μελέτη των πρανών του βόρειου ρηξιγενούς περιθωρίου της λεκάνης των Σερρών (Εικ. 1). Το υπόβαθρο της περιοχής συνίσταται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Ενότητας Παγγαίου, τα οποία καλύπτονται ασύμφωνα από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η ρηξιγενής ζώνη των Σερρών ευθύνεται για τη δημιουργία του σημερινού μορφολογικού αναγλύφου της περιοχής και θεωρείται ενεργή (Tranos & Mountrakis, 2004). Στα πρανή της ζώνης εφαρμόστηκε μία ποικιλία μορφοτεκτονικών αναλύσεων, με σκοπό τον ποσοτικό καθορισμό μορφοτεκτονικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο κατασκευάστηκε από την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων ASTER.



Εικόνα 1. Τα ρηξιγενή πρανή του βόρειου ρηξιγενούς περιθωρίου της λεκάνης των Σερρών, όπως προέκυψαν από το συνδυασμό δημοσιευμένων δεδομένων, εργασίας πεδίου και ανάλυσης του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, προβαλλόμενα στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Γεωλ. Χάρτης της Ελλάδας, 1:50.000, ΙΓΜΕ, Φύλλα Σέρρες, Προσοτσάνη και Ροδολίβος).

Εφαρμόστηκαν δύο μορφοτεκτονικοί δείκτες στην περιοχή μελέτης: (1) Δαντέλωση στους πρόποδες των βουνών (Smf) (Mountain – Front Sinuosity) και (2) Λόγος πλάτους κοιλάδας προς ύψος (V) (Ratio of Valley – Floor Width to Valley Height). Για την επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα πακέτα λογισμικού όπως: (1) Arc GIS 10.1 (ESRI), για την αποτύπωση και παρουσίαση του γεωλογικού υπο-βάθρου της περιοχής, (2) Global Mapper 15 (Blue Marble Geographics), για να αναπαρασταθεί τρισδιάστατα η περιοχή μελέτης ως προς το ανάγλυφο, την μορφολογία και το υδρογραφικό της δίκτυο, (3) Corel DRAW Graphics Suite X6, για το σχεδιασμό δισδιάστατων γεωμετρικών στοιχείων της περιοχής, (4) Google Earth Pro, για τη φυσική απεικόνιση της περιοχής μελέτης και σχηματισμό μορφολογικών χαρτών.

* Χατζοπούλου Μ., και συν.: Μορφοτεκτονική ανάλυση του βόρειου ρηξιγενούς περιθωρίου της λεκάνης των Σερρών

Με βάση την ανάλυση του δείκτη δαντέλωσης (Πιν. 1), φαίνεται ότι όλα τα πρανή που μελετήθηκαν ανήκουν σε ενεργά ρήγματα, καθώς ο δείκτης S είναι μικρότερος του 1,6, τιμή η οποία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία θεωρείται γενικά ως το ανώτερο όριο διακύμανσης για ενεργά πρανή.

Πίνακας 1. Υπολογισμός του δείκτη δαντέλωσης στους πρόποδες των βουνών (Smf) σε ρηξιγενή πρανή του βόρειου περιθωρίου της λεκάνης των Σερρών.

Ρήγματα	Δείκτης Δαντέλωσης		Τα ενεργά πρανή των βουνών παίρνουν τιμές S = 1.0 – 1.6
R1	S=l/L	4.054 km /3.072 km =	S= 1,32
R2	S=l/L	4.331 km / 4.240 km =	S = 1,02
R10	S=l/L	2.046 km / 1.764 km =	S = 1,15
R4	S=l/L	11.460 km / 9.239 km =	S = 1,24
R22	S=l/L	1.478 km / 1.379 km =	S = 1,07
R24	S=l/L	2.822 km / 2.296 km =	S = 1,22
R7	S=l/L	2.037 km / 1.811 km =	S = 1,12
R16	S=l/L	3.074 km / 2.107 km =	S = 1,45

Πίνακας 2. Ο δείκτης πλάτους κοιλάδας προς ύψος Vf στο βόρειο ρηξιγενές περιθώριο της λεκάνης των Σερρών μεταξύ Σερρών και Νέας Ζίχνης. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι κοιλάδες οι οποίες τέμνονται από ενεργά ρήγματα.

Κοιλάδα	Υψόμετρο αριστερού υδροκρίτη σε m	Υψόμετρο δεξιού υδροκρίτη σε m	Πλάτος λεκάνηςσε m	Υψόμετρο κοιλάδας σε m	Vf
1	137,738	138,807	1.021	59,924	13,03
2	235,996	215,071	453,170	173,509	8,71
3	312,438	331,505	795,030	175,532	5,42
4	320,856	338,700	366,490	304,041	14,23
5	366,651	369,356	754,550	311,886	13,44
6	391,283	350,957	353,170	325,235	7,69
7	221,013	200,411	437,290	138,604	6,06
8	202,850	160,374	446	142,603	11,43
9	215,310	218,443	477,92	176,826	11,93
10	163,541	162,163	442,28	129,371	13,20
11	166,811	160,678	519,840	124,694	13,30

Όσον αφορά το λόγο Vf, αυτός έχει πολύ μικρές τιμές στις κοιλάδες 2, 3, 6 και 7 (Πιν. 2). Από αυτό συνάγεται ότι τα τμήματα των ρηγμάτων που συνδέονται με αυτές τις κοιλάδες προκαλούν εντονότερη κατά βάθος διάβρωση, η οποία μπορεί να εξηγηθεί με αυξημένη τοπική ανύψωση. Επομένως, αυτά τα τμήματα θα πρέπει να θεωρούνται πιο ενεργά από τα υπόλοιπα της ίδιας ζώνης.

Abstract

In this paper we present the results of the study Morphotectonics slopes of the north rift margin of the Serres basin. The geological background of the area consisting of the crystalline rocks of Pangeo Unity, covered unconformably by Neogene and Quaternary deposits. The Serres fault zone is responsible for the creation of the current morphological terrain of the area and is considered active (Tranos and Mountrakis, 2004). In the fault scarps of the zone a variety morphotectonic analysis was applied, in order to quantify morphotectonic indicators. For this purpose, we used a digital terrain model, which was manufactured by processing satellite ASTER data.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Tranos, M.D., Mountrakis, D.M., 2004. The Serres fault zone (SZF): an active fault zone in Eastern Macedonia (Northern Greece), Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, vol. 2, 892-895.

PRELIMINARY RESULTS OF THE UPPER MANTLE PROPERTIES INVESTIGATION BENEATH GREECE THROUGH SKS SPLITTING ANALYSIS*

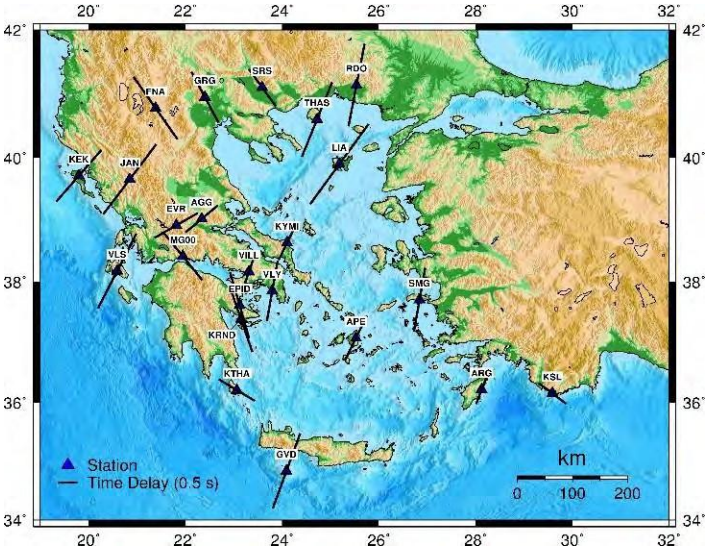
I. Fountoulakis, I. Spiggos, G. Kaviris and P. Papadimitriou

Section of Geophysics and Geothermy, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Η δυναμική της Ανατολικής Μεσογείου ελέγχεται κυρίως από την υποβύθιση και τη σύγκρουση δύο κύριων τεκτονικών λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής. Μέρος αυτού του πολύπλοκου συστήματος αποτελεί και η Ελλάδα, όπου τόσο η υποβύθιση όσο και η υποχώρηση της υποβυθιζόμενης πλάκας τα τελευταία 30-35 Ma (Jolivet et. al, 2008) περιπλέκουν την κινηματική κατάσταση του ανωτέρου μανδύα. Η μελέτη ανισοτροπίας με χρήση SKS φάσεων συνδέεται με την αποτύπωση της μανδυακής κίνησης και ως εκ τούτου συμβάλλει στην περεταίρω κατανόηση του γεωδυναμικού πλαισίου στο οποίο ανήκει ο ελλαδικός χώρος. Για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης μελέτης απαραίτητη ήταν η δημιουργία βάσης δεδομένων που περιλαμβάνει έναν ικανοποιητικό αριθμό σεισμικών γεγονότων. Χρησιμοποιήθηκαν τηλεσεισμοί με μεγέθη MW ≥ 6 σε επικεντρικές αποστάσεις 90ο-130ο. Η άντληση των απαραίτητων για τη μελέτη δεδομένων έγινε από καταγραφές του Ενιαίου Εθνικού Δικτύου Σεισμογράφων (Ε.Ε.Δ.Σ.) κατά το χρονικό διάστημα 2015-2016. Η επεξεργασία των καταγραφών έγινε με το λογισμικό Splitlab 1.0.5 (Wustefeld et. al, 2008), το οποίο για τον προσδιορισμό των παραμέτρων σχάσης, μέσω ημι-αυτόματης διαδικασίας, χρησιμοποιεί τις μεθόδους ετεροσυσχέτισης, ελάχιστης ενέργειας και ιδιοτιμών. Οι παράμετροι ανισοτροπίας που εξάγονται από την επεξεργασία είναι η διεύθυνση πόλωσης του ταχέος εγκάρσιου κύματος (φ) και η χρονική καθυστέρηση (δt) μεταξύ των δύο εγκαρσίων κυμάτων (Sfast και Sslow) που έχουν υποστεί σχάση. Με βάση τα προκαταρκτικά αποτελέσματα της επεξεργασίας, οι μέσες διευθύνσεις ανισοτροπίας, οι οποίες παρουσιάζονται στον χάρτη της Εικόνας 1, στον χώρο του κεντρικού και βορείου Αιγαίου, στην Κρήτη, στη Στερεά Ελλάδα και στην Εύβοια είναι περίπου εγκάρσιες προς το Ελληνικό τόξο και βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις διευθύνσεις που έχουν προκύψει από μελέτες GPS (ΒΑ-ΝΔ) (Hollenstein et. al, 2008), καθώς και με αποτελέσματα προηγούμενων μελετών ανισοτροπίας με χρήση κυμάτων SKS (Hatzfeld et al., 2001; Evangelidis et al., 2011; Paul et al., 2014). Η ανισοτροπία στον χώρο του κεντρικού και βορείου Αιγαίου, με βάση τα πρώτα στοιχεία, μπορεί να συνδέεται με τη μανδυακή σφήνα, ενώ στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης η πηγή ανισοτροπίας πιθανώς να εντοπίζεται κάτω από την υποβυθιζόμενη πλάκα, δικαιολογώντας τις υψηλές χρονικές καθυστερήσεις στη Γαύδο. Χαρακτηριστική είναι η αύξηση των χρονικών καθυστερήσεων από το νότιο προς το βόρειο Αιγαίο. Η μέση διεύθυνση ανισοτροπίας στην Κεφαλονιά είναι περίπου παράλληλη με το ρήγμα μετασχηματισμού Κεφαλονιάς - Λευκάδα. Στον χώρο της Πελοποννήσου, σε διάφορες θέσεις, πιθανή είναι η ύπαρξη «παγωμένης» ανισοτροπίας. Τέλος, στο ανατολικό κομμάτι του Ελληνικού τόξου παρουσιάζονται παράλληλες προς την τάφρο διευθύνσεις πόλωσης του ταχέος εγκαρσίου κύματος.

Η παρούσα μελέτη ανισοτροπίας ελληνικού χώρου με χρήση SKS φάσεων βρίσκεται ακόμα σε προκαταρτικό στάδιο, καθώς συνεχίζεται ο εμπλουτισμός των αποτελεσμάτων με την επεξεργασία νέων σεισμικών γεγονότων. Μελλοντικά πρόκειται να αναζητηθούν δεδομένα σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου αλλά και σε περισσότερους σταθμούς προκειμένου να καταστεί εφικτή η εξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων.



Εικόνα 1. Μέσες διευθύνσεις ανισοτροπίας για κάθε σταθμό της παρούσας μελέτης. Το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος είναι ανάλογο της μέσης χρονικής καθυστέρησης στον σταθμό καταγραφής.

Abstract

SKS splitting parameters, anisotropy directions and delay times, are determined in the Greek territory using events recorded by stations belonging to the Hellenic Unified Seismological Network (HUSN). Processing of seismic data is performed using Splitlab 1.0.5 (Wustefeld et al., 2008). In general, mean anisotropy directions are trench perpendicular in Crete, in the Aegean region and in Central Greece, in good agreement with the NE-SW directions obtained by GPS measurements (Hollenstein et al., 2008). In the back-arc region, a gradual increase is observed in delay times from south to north. The proposed source of anisotropy in the back-arc region is the mantle wedge flow, with possible sub-slab sources beneath Crete. The westernmost termination of the trench reveals an anisotropy direction almost parallel with the Cephalonia - Lefkada Transform Fault Zone (CLTFZ) and perpendicular to the convergence boundary. Beneath Peloponnese, we observe possible trench parallel flow, with anisotropy patterns in NE Peloponnese reflecting frozen anisotropy. At the easternmost side of the trench, fast shear-wave polarization directions are trench parallel.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Jolivet, L., Augier, R., Faccenna, C., Negro, F., Rimmele, G., Agard, P., Robin, C., Rossetti, F., Crespo-Blanc, A., 2008. Subduction, convergence, and the mode of backarc extension in the Mediterranean region. Bull. Soc. Géol. Fr. 179 (6), 525–550.

Wustefeld, A., Bokelmann, G., Zaroli, C., Barruol, G., 2008. SplitLab: A shear-wave splitting environment in Matlab. Computers & Geosciences 34 515–528.

Hollenstein, Ch., Müller, M.D., Geiger, A., Kahle H.-G., 2008. Crustal motion and deformation in Greece from a decade of GPS measurements, 1993–2003. Tectonophysics 449, 17–40.

Hatzfeld, D., Karagianni, E., Kassaras, I., Kiratzi, A., Louvari, E., Lyon-Caen, H., Makropoulos, K., Papadimitriou, P., Bock, G., Priestley, K., 2001. Shear wave anisotropy in the upper mantle beneath the Aegean related to internal deformation. J. Geophys. Res., 106, 30, 737–753.

Evangelidis, C., Liang, T., Melis, N., Konstantinou, K., 2011. Shear wave anisotropy beneath the Aegean inferred from SKS splitting observations. J. Geophys. Res., vol. 116, B04314, doi: 10.1029/2010JB007884.

Paul, A., Karabulut, H., Mutlu, A.K., SalaÃijn, G., 2014. A comprehensive and densely sampled map of shear-wave azimuthal anisotropy in the Aegean–Anatolia region. Earth and Planetary Science Letters 389, 14–22.

[*] Φουντουλάκης Ι. και συν: Προκαταρτικά αποτελέσματα μελέτης ιδιοτήτων του Ανώτερου Μανδύα στον Ελλαδικό χώρο μέσω παραμέτρων σχάσης κυμάτων SKS

POSTSEISMIC DEFORMATION FOLLOWING THE M6.5 LEFKADA EARTHQUAKE (17 NOVEMBER 2015), IONIAN SEA, GREECE*

Ath. Ganas[1], P. Briole[2], P. Elias[3], P. Argyrakis[1], Ev. Mendonidis[1] and M. Papanikolaou[1]

[1] Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, 11810 Athens, Greece (aganas@noa.gr)
[2] Ecole Normale Supérieure (briole@ens.fr)
[3] Institute for Astronomy, Astrophysics, Space Applications & Remote Sensing, National Observatory of Athens, 15236 Penteli, Greece (peli-as@noa.gr)

Περίληψη

Η εδαφική παραμόρφωση που ακολούθησε τον μεγάλο, επιφανειακό σεισμό στην νότια Λευκάδα (17/11/2015, M6.5) εκτιμήθηκε με χρήση γεωδαιτικών δεδομένων GPS. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα έξη μόνιμων σταθμών, τεσσάρων στην νήσο Λευκάδα (SPAN, PONT, EXAN, DRAG) και δύο στην βόρειο Κεφαλληνία (ASSO και FISK). Επίσης, στις 20-22/11/2015 έγινε ίδρυση τοπικού δικτύου GPS με έξη (6) σημεία σε βράχο, στην νότια Λευκάδα (Fig. 1). Το δίκτυο μετρήθηκε έξη φορές με διπλόσυχνους δέκτες, μεταξύ Νοεμβρίου 2015 – Νοεμβρίου 2016. Τα δεδομένα GPS αναλύθη-καν με το λογισμικό GIPSY και την μέθοδο PPP (Precise Point Positioning). Όλες οι μετασεισμικές μετατο-πίσεις ακολουθούν φθίνουσα, εκθετική συμπεριφορά ως προς τον χρόνο και το πλάτος τους κυμαίνεταιαπό μερικά εκατοστά κοντά στο επίκεντρο έως μερικά χιλιοστά προς τα άκρα του ρήγματος (Σχήμα 2 – Εικόνα 2, επόμενη σελίδα). Το πεδίο των εδαφικών μετατοπίσεων προσομοιώθηκε με μετασεισμική δεξιόστροφη ολίσθηση (μετα-ολίσθηση) πάνω στην ασυνέχεια με χαρακτηριστικά 18°/71°/170° (επίπεδο κύριου σεισμού 2015, Ganas et al. 2016) σε ελαστικό ημιχώρο (ανώτερος φλοιός). Η προσομοίωση έδειξε ικανοποιητικά αποτελέσματα (RMS σφάλμα μοντέλου περίπου 3mm) χωρίς να απαραίτητα να χρειάζεται η προσθήκη βισκοελαστικού μοντέλου χαλάρωσης στον κατώτερο φλοιό. Η εκθετική μείωση της μετασεισμικής παραμόρφωσης στον χρόνο ανέρχεται σε περίπου τρείς μήνες (80 ημέρες).

Figure 1. Field photographs from installation and measurement of the GPS local network, Lefkada, 2015.

Abstract

Following the 2015 onshore Lefkada shallow earthquake (Ganas et al., 2016), we observed postseismic motions throughout most of southern Lefkada and northern Cephalonia islands (Ionian Sea, Greece) using the Global Positioning System (GPS). In addition to the two NOANET stations at Ponti and Spanochori, four permanent GPS receivers were installed in fixed positions at Dragano, Exantheia, Asso and Fiskardo, also recorded postseismic deformation. Moreover, we established 6 sites on bedrock where we deployed portable receivers (Fig. 1, previous page) six times over a period of about 12 months, near the rupture zone of the 2015 earthquake (Fig. 2). The GPS data were processed with GIPSY software in PPP mode. Postseis- mic displacements ranged from a few centimetres near the epicentre to a few millimeters far from the

* Γκανάς Αθ. και συν.: Μετασεισμική Παραμόρφωση από τον σεισμό M6.5 της Λευκάδας (17/11/2015)

fault. We modeled the postseismic displacements, using dislocation theory, as due to uniform slip on the fault that ruptured on 17 November 2015, with RMS of residuals near 3mm. Our model shows a right-lateral afterslip along the seismic fault implying that significant afterslip must have occurred up to 10-km depth to explain the observed deformation at the surface. Accelerated strain followed the Lefkada earthquake returned to the normal rate only after a period of about three months (80 days decay time).

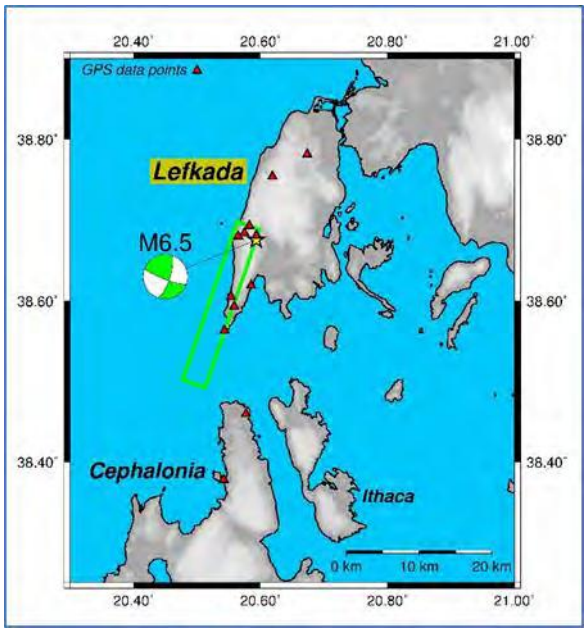


Figure 2. Map showing GPS data points (red triangles).

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ganas, A., et al., Coseismic deformation, field observations and seismic fault of the 17 November 2015M=6.5, Lefkada Island, Greece earthquake, Tectonophysics (2016), http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.08.012

Acknowledgements

Fieldwork in Lefkada – Cephalonia was funded by the GSRT project INDES-MUSA http://www.indes-musa.gr/ FP7 project RASOR http://www.rasor-project.eu/ and by CNRS-INSU.

FAULT GEOMETRY AND KINEMATICS AT THE TERMINATION OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT: SPORADES BASIN AND SURROUDING AREA, NORTH AEGEAN SEA, EASTERN MEDITERRANEAN*

K. N. Georgiou, X. Dimas, S. Sergiou, D. Christodoulou, G. Papatheodorou and G. Ferentinos

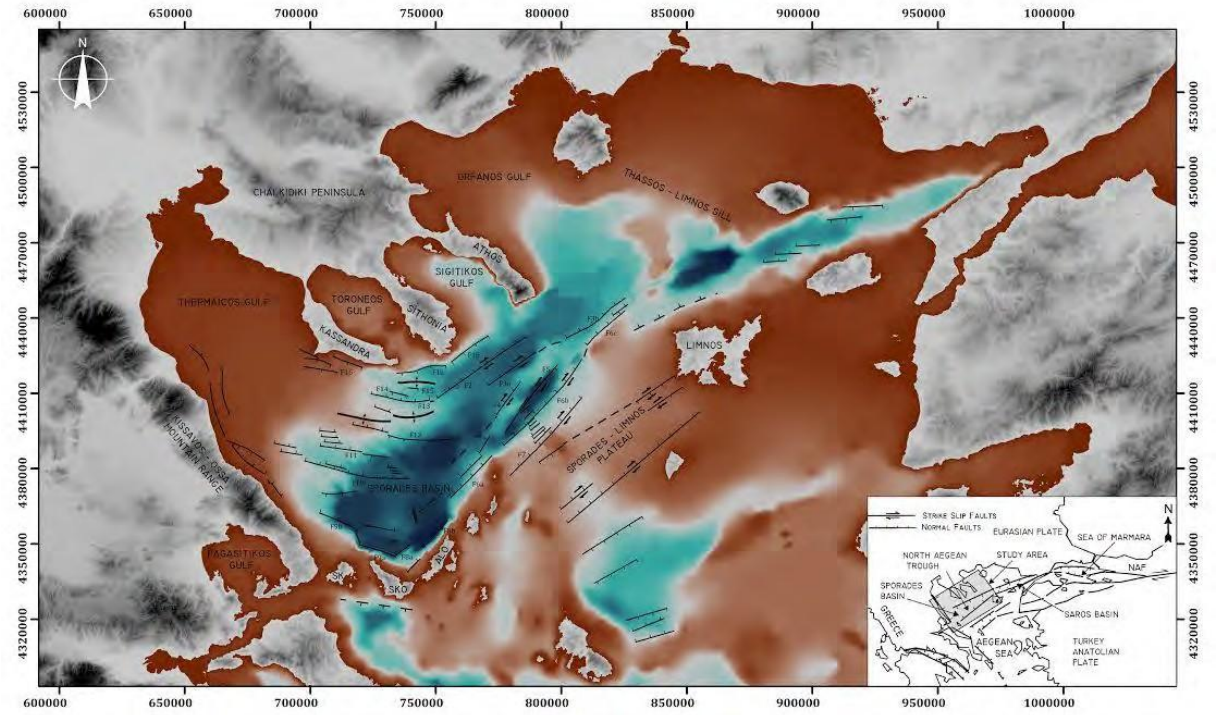
Laboratory of Marine Geology and Physical Oceanography, Geology Department, University of Patras, 26500 Rion Patras, Greece

Περίληψη

Η ανάλυση σεισμικών τομογραφιών που συλλέχθηκαν με μονοκάναλο τομογράφο υποδομής πυθμένα τύπου 3.5kHz Pinger, 3kJ Sparker, Air-gun (Brooks and Ferentinos, 1980) καθώς επίσης τριών πολυκάναλων τομογραφιών (Laigle et al,2000) και δεκαεπτά πολυκάναλων τομογραφιών (Greek Public Petroleum Company 1974), στην λεκάνη των Σποράδων και στην ευρύτερη περιοχή, σε συνδυασμό με τη λεπτομερή βυθομετρία (Ferentinos et al. 1981; Papanikolaou et al. 2002), έδειξε πως η περιοχή αυτή είναι μια σύνθετη ζώνη με δεξιόστροφη οριζόντια μετατόπιση και εφελκυστική παραμόρφωση. Η λεκάνη των Σποράδων μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερις βασικές δομές με κριτήριο την γεωμετρία και κινηματική των ρηγμάτων: (α) Το ανατολικό και κεντρικό μέρος της λεκάνης των Σποράδων, το οποίο επηρεάζεται από ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, με τα κανονικά ρήγματα να παρουσιάζουν έντονη κατακόρυφη μετατόπιση, (β) Το δυτικό μέρος της λεκάνης των Σποράδων και η πλαγιά του Θερμαϊκού επηρεάζεται από κανονικά λιστρικά ρήγματα που έχουν διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ έως Α-Δ, (γ) Το βορειοδυτικό τμήμα της πλαγιάς του Θερμαϊκού επηρεάζεται από ΒΔ-ΝΑ κανονικά ανενεργά ρήγματα, (δ) Η πλατφόρμα Σποράδες-Λήμνος και η λεκάνη Σκύρος-Edremit επηρεάζονται από ΒΑ-ΝΔ πλαγιο-κανονικά ρήγματα. Ο βόρειος κλάδος του ρήγματος της Ανατολίας περνά κατά μήκος της λεκάνης της Σάρου και συνεχίζει στη λεκάνη των Σποράδων, όπου διαχωρίζεται σε οκτώ διακλαδώσεις με την νοτιότερη να είναι η συνέχεια του ρήγματος Ganos στα δυτικά. Η περιοχή δυτικά της λεκάνης των Σποράδων και της πλαγιάς του Θερμαϊκού κυριαρχείται από κανονικά λιστρικά ρήγματα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ έως Α-Δ. Ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα ρήγματα προσεγγίζουν τις ΒΑ-ΝΔ διακλαδώσεις του ρήγματος της Ανατολίας, συνιστά ότι είναι ρήγματα που συναντώνται σε δομές τερματισμού στη ζώνη παραμόρφωσης οριζόντιας μετατόπισης ρηγμάτων, μέσω των οποίων τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης διαχέουν την ενέργειά τους. Τα ΔΒΔ-ΑΝΑ έως Α-Δ διεύθυνσης ρήγματα στο δυτικό τμήμα της λεκάνης των Σποράδων και της πλαγιάς του Θερμαϊκού είναι αποτέλεσμα των ΒΒΑ-ΑΝΑ έως Β-Ν εφελκυστικών τάσεων που επικρατούν μεταξύ Νότιας Βουλγαρίας και Πηλίου καθώς και της χερσονήσου της Κασσάνδρας και των Σποράδων νήσων (Nyst and Thatcher, 2004, Reilinger et al 2010, Muller et al 2013) λόγω της καθετότητάς τους. Η δεξιόστροφη κίνηση του βόρειου κλάδου του ρήγματος της Ανατολίας διαχέεται κυρίως μέσω των ΔΒΔ-ΑΝΑ έως Α-Δ ρηγματογενών ζωνών, στην πλαγιά του Θερμαϊκού κόλπου και της χερσονήσου της Χαλκιδικής και δεν διαχέεται στην κεντρική Ελλάδα όπως προτάθηκε από τους McKenzie and Jackson (1983). Η σεισμική ζώνη του Αγίου Ευστρατίου ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, στην πλατφόρμα των Σποράδων-Λήμνου, η οποία διέρχεται μέσα από τον Άγιο Ευστράτιο και σχετίζεται με οριζόντιας μετατόπισης ρήγματα, δεν εντοπίσθηκε στις σεισμικές τομογραφίες και δεν φαίνεται με βάση τα επίκεντρα των σεισμών, να προεκτείνεται ανατολικά προς την Τουρκία. Η λεκάνη Σκύρος-Edremit οριοθετείται στα βόρεια και νότια πρανή από ζεύγος ρηγμάτων.

* Γεωργίου Κ., και συν.: Γεωμετρία και κινηματική στην απόληξη του ρήγματος της Ανατολίας: λεκάνη Σποράδων και ευρύτερη περιοχή, βόρειο αιγαίο, ανατολική μεσόγειο

Στο βόρειο πρανές τα ρήγματα είναι πλαγιο-κανονικά με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔκαι κλίση προς τα ΝΑ. Τα ρήγματα είναι ενεργά διέρχονται νότια της νήσου του Αγίου Ευστρατίου και με βάση τα επίκεντρα των σεισμών δεν επεκτείνονται ανατολικά πέρα της Λήμνου. Το νότιο πρανές της λεκάνης ελέγχεται από πλαγιο-κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Τα ρήγματα είναι ενεργά και μεβάση τα επίκεντρα των σεισμών ενώνονται με τη νοτιότερη διακλάδωση του νότιου κλάδου του ρήγμα-τος της Ανατολίας. Η γεωμετρία, η κινηματική και η διάταξη των ρηγμάτων που περιγράφονται πιο πάνωσε συνδυασμό με μετρήσεις GPS, σεισμικά επίκεντρα, ένταση σεισμών και επίλυση μηχανισμών κίνησηςστο Αιγαίο και την Ανατολία, ταιριάζουν με τα μοντέλα παραμόρφωσης και των κινήσεων των μικρο- πλακών όπως αναγνωρίστηκαν από Nyst και Thatcher, 2004, Reilinger et al 2010 και Muller et al 2014.



Εικόνα 1. Κύρια ρήγματα Βορείου Αιγαίου σε σύγκριση με σεισμικά επίκεντρα.

Abstract

The analyses of single channel seismic lines (3.5KHz Pinger, 3KJ Sparker and air-gun) (Brooks and Ferentinos, 1980; 1982), three multichannel seismic lines (Laigle et al, 2000) and seventeen multichannel seismic profiles (Greek Public Petroleum Company 1974) over the Sporades basin and the surrounding area in association with the detailed bathymetry (Ferentinos et al, 1981; Papanikolaou et al 2002) has shown that the Sporades basin and its surrounding is a complex belt of dextral strike slip and extensional deformation.

The Sporades basin can be subdivided into four structural domains based on the dominant mode of faulting in each domain: (a) the eastern and central part of the Sporades basin, which is affected by NE-SW trending strike slip faults with the marginal ones also exhibiting a strong dip slip component, (b) the western Sporades basin and the Thermaicos slope, which is affected by WNW-ESE to E-W trending listric normal faults, (c) the north western end of Thermaicos shelf which is affected by NW-SE trending normal buried faults and (d) the Sporades-Limnos continental platform and the Skyros-Edremit basin which are affected by NE-SW strike slip faults with dip slip component.

The Northern branch of the North Anatolian Fault (N-NAF) passes along the Saros basin and continuous to the Sporades basin, where it splits in eight strands with the southernmost to be the continuation of the Ganos fault to the west.West of the Sporades basin and the Thermaicos slope are dominated by WNW-ESE to E-W normal listic faults. The way that the WNW-ESE to E-W faults approaches the NE-SW strands

of the N-NAF in the Sporades basin suggest that these faults correspond to terminating structures at the

end region of the strike slip deformation belt through whom the strike slip faults diffuses their displacement through splayed extensional faults. The WNW-ESE trending faults over the western Sporades basin and Thermaicos slope are optimally oriented and spaced to accommodate the large-scale N–S to NNE–SSW extension geodetically observed between southern Bulgaria and Pelion/Sporades Islands (Nyst and Thatcher, 2004, Reilinger et al 2010, Muller et al 2013).

The NE-SW right lateral slip motion of NAF is mainly diffused through the WNW-ESE to E-W trending Thermaicos slope and Chalkidiki peninsula fault belts and not taken up on the wide zone of normal faulting in central Greece as suggested by McKenzie and Jackson 1983, and it is responsible for the recent activity in the pre-existing rifts of N. Evia Basin and Corinth Gulf.

The northern strand of the southern branch of the NAF (S-NAF), which passes along the Biga peninsula, propagates to the Aegean Sea along the Sporades-Limnos continental platform where it connects to the Agios Efstratios strike slip fault zone at an angle. The southern strand of the southern branch of NAF (S-NAF) propagates to the Aegean Sea where it connects to the Skyros-Edremit fault controlled basin at an angle. The structural domains and the fault patterns described above match well with the deformational patterns and the micro-plates motion as identified by Nyst and Thatcher, 2004, Reilinger et al 2010 and Muller et al 1013, based on GPS velocity field over the Aegean and Anatolia domains and on the earthquake density distribution, magnitude and fault plane mechanisms.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Brooks M., Ferentinos G., 1980. Structure and evolution of the Sporadhes basin of the North Aegean Trough, Northern Aegean Sea, Tectonophysics

Ferentinos G., Brooks M., Collins M., 1981. Gravity-induced deformation on the northern flank and floor of the Sporadhes Basin of the North Aegean Sea Trough Marine Geology

Greek Public Petroleum Company 1974, internal report

Laigle, M., Hirn, A., Sachpazi, M. & Roussos, N., 2000. North Aegean crustal deformation: an active fault imaged to 10 km depth by reflection seismic data, Geology, 28, 71–75.

Müller M.D., Geiger A., Kahle H.-G., Veis G., Billiris H., Paradissis D., Felekis S., 2013. Velocity and deformation fields in the North Aegean domain, Greece, and implications for fault kinematics, derived from GPS data 1993–2009, Tectonophysics 597–598, 34–49

McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine—Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophys. J. R. astr. Soc., 55, 217–254.

Nyst and Thatcher, 2004. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean. Journal of geophysical research, vol. 109

Papanikolaou, D., M. Alexandri, P. Nomikou and D. Ballas, 2002. Morphotectonic structure of the western part of the North Aegean Basin based on swath bathymetry, Mar. Geol., 190, 465-492.

Reilinger R., McClusky S., Paradissis D., Ergintav S., Vernant P., Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone, 2010, Tectonophysics 488

THE MELOUNA FAULT: AN ACTIVE STRIKE-SLIP STRUCTURE IN THE NORTH GULF OF EVIA*

G. Grammenidis[1], H. Kranis[1] and D. Sakellariou[2]

[1] Section of Dynamic Tectonic Applied Geology, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece (g_gramenidis@hotmail.com , hkranis@geol.uoa.gr)

[2] Institute of Oceanography, Hellenic Centre for Marine Research, 19013 Anavyssos Attiki Greece (sakell@hcmr.gr)

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στη μελέτη της τεκτονικής δομής του Βόρειου Ευβοϊκού Κόλπου (ΒΕΚ), μέσα από τη μελέτη και ανάλυση δεδομένων σεισμικής ανάκλασης. Συγκεκριμένα, εστιάζεται στη νοτιοανατολική υπολεκάνη του ΒΕΚ, όπως αυτή προσδιορίστηκε από τους Sakellariou et al. (2007). Η νοτιοανατολική υπολεκάνη εντοπίζεται μεταξύ της χερσονήσου της Μαλεσίνας στα ΝΔ και το όρος Καντήλι στα ΒΑ και χαρακτηρίζεται από σχετικά μικρά βάθη και ομαλό ανάγλυφο πυθμένα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μονοκάναλα σεισμικά που συλλέχθηκαν από το ΕΛΚΕΘΕ το 2004, με χρήση airgun 10^3 in.

Οι Sakellariou et al. (2007) διέκριναν τρεις ιζηματογενείς ακολουθίες στη νοτιοδυτική υπολεκάνη του ΒΕΚ: μια κατώτερη, που πιθανόν αντιστοιχεί στις νεογενείς αποθέσεις (μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι) που εμφανίζονται στη χερσόνησο της Μαλεσίνας, μία ενδιάμεση, που έχει αποτεθεί ασύμφωνα στην προηγούμενη και την ανώτερη, που αντιστοιχεί στο Ολόκαινο. Το πάχος των ιζημάτων στην νοτιοδυτική υπολεκάνη φθάνει τα 300 m. Το βορειοδυτικό περιθώριο της υπολεκάνης ορίζεται από το Ρήγμα του Καντηλίου, παράλληλα με τις ακτές της Εύβοιας.

Το ρήγμα της Μέλουνας (ΡΜ) χαρτογραφείται ως μια δομή μέσης διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, παράλληλα περίπου με τον άξονα του ΒΕΚ και για μήκος περίπου 12 km (max 14). Στις σεισμικές τομές απεικονίζεται η ζώνη κύριας μετατόπισης (principal displacement zone , PDZ) η οποία συνοδεύεται από δευτερεύοντα ρήγματα, σε μια ζώνη παραμόρφωσης, πλάτους έως 800 m.

Η παρουσία του ΡΜ συνδυάζεται με μια επιμήκη αναθόλωση του προ-τεταρτογενούς υποβάθρου των ιζημάτων του Β. Ευβοϊκού, εντοπιζόμενη στο ΒΑ τέμαχος του ΡΜ. Η αναθόλωση είναι εντονότερη, με το προ-τεταρτογενές υπόβαθρο να απαντά πολύ ρηχά, καλυπτόμενο από λεπτό πάχος ολοκαινικών ιζημάτων, στην περιοχή στην οποία η διεύθυνση του ΡΜ αλλάζει, μέσα από μια δεξιόστροφη καμπή. Η κατακόρυφη μετατόπιση του ΡΜ ποικίλει σημαντικά κατά μήκος του, με την ασυμφωνία μεταξύ κατώτερης και ενδιάμεσης ακολουθίας να έχει μετατοπιστεί έως και 80 m (Sakellariou et al., 2007), με σχετική ανύψωση του ΒΑ τεμάχους του ρήγματος, αν και η μορφολογική έκφραση του ΡΜ στον θαλάσσιο πυθμένα είναι δεν είναι έντονη.

Η εικόνα του ΡΜ στις σεισμικές τομές δείχνει ότι πρόκειται για μια δομή οριζόντιας ολίσθησης. Το γεγονός ότι η αναθόλωση του υποβάθρου εντοπίζεται στην δεξιά καμπή του ρήγματος συνηγορεί υπέρ μιας αριστερόστροφης δομής, στην καμπή της οποίας αναπτύσσεται μια θετική ανθοδομή (flower structure). Παράλληλα, τουλάχιστον δύο πρόσφατες σεισμικές ακολουθίες εντοπίζονται κατά μήκος του ίχνους του ΡΜ. Η επίλυση των εστιακών μηχανισμών των κύριων σεισμών (M_L=5.2, 17.12.2014, M_L=5.2, 9.6.2015) έδειξε ότι πρόκειται για διαρρήξεις αριστερόστροφες ή έντονα πλαγιοκανονικές-αριστερόστροφες (Ganas et al., 2016), με διευθύνσεις επιπέδων διάρρηξης παράλληλων ή υποπαράλληλων με το Ρ.Μ.

Γραμμενίδης Γ., και συν.: Το ρήγμα της Μέλουνας: μια ενεργή δομή οριζόντιας ολίσθησης στον Βόρειο Ευβοϊκό Κόλπο.

Abstract

We use seismic reflection data from the Northern Gulf of Evia (NEG) to image the Melouna Fault (MF), a ca 12-km long structure with a mean NW-SE strike, parallel to the gulf axis. The MF is left-lateral strike slip, associated with an uplifted elongate ridge of the pre-quaternary basin fill, which occurs on a right (restraining) bend of the fault. The geometry and kinematics of the imaged fault are in agreement with the focal mechanism solutions of recent earthquake sequences, indicating that it is an active structure within the NEG

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ganas, A., Mouzakiotis, E., Moshou, A., & Karastathis, V. (2016). Left-lateral shear inside the North Gulf of Evia Rift, central Greece, evidenced by relocated earthquake sequences and moment tensor inversion. Tectonophysics, 682, 237-248, doi: 10.1016/j.tecto.2016.05.031.

Sakellariou, D., Rousakis, G., Kaberi, H., Kapsimalis, V., Georgiou, P., Kanellopoulos, T., & Lykousis, V. (2007). Tectono-sedimentary structure, and Late Quaternary evolution of the North Evian Gulf basin, central Greece: preliminary results. Bulletin of the Geological Society of Greece, 40, 451-462.

INSIGHTS ON THE GEODYNAMICS OF WESTERN GREECE DEDUCED FROM 3-D STRESS TENSOR INVERSION AND TRAVELTIME TOMOGRAPHY*

A. Karakonstantis[1], I. Kassaras[1], V. Kapetanidis[1], P. Papadimitriou[1] and Ath. Ganas[2]

[1] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece (akarakon@geol.uoa.gr)

[2] Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, 11810 Athens, Greece (aganas@noa.gr)

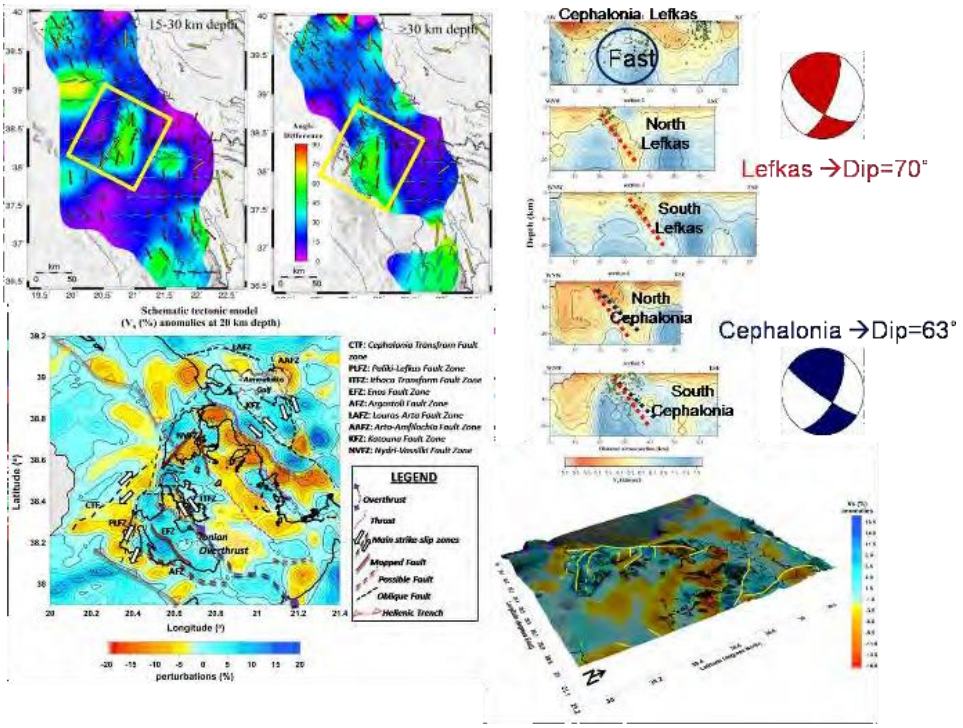
Περίληψη

Η περιοχή της Δυτικής Ελλάδας χαρακτηρίζεται από την παρουσία μίας σειράς σημαντικών ρηξιγενών ζωνών που ενεργοποιήθηκαν κατά την τελευταία δεκαετία, παρέχοντάς μας υψηλής ποιότητας σεισμικές καταγραφές εκ του Εθνικού Σεισμολογικού Δικτύου. Στην παρούσα εργασία παρατίθενται αποτελέσματα επαναπροσδιορισμού υποκέντρων, αντιστροφής του τανυστή τάσης και σεισμικής τομογραφίας με κύριο στόχο την ανάδειξη ποιοτικών στοιχείων επί της Γεωδυναμικής της περιοχής. Η αντιστροφή ~2300 μηχανισμών γένεσης ανέδειξε μία διαφορά περί των 30˚ μεταξύ των κύριων ανυσμάτων διάτμησης και της μέγιστης οριζόντιας τάσης, κατά μήκος των κύριων ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης που χαρακτηρίζονται από σταθερή δεξιόστροφη περιστροφή. Εντός του κατώτερου τμήματος του φλοιού, το εντατικό πεδίο φαίνεται να υπόκειται παραμόρφωσης που οφείλεται σε μηχανισμό μεγαλύτερης κλίμακας, όπως άλλωστε επιβεβαιώνεται και από την 3-Δ σεισμική αντιστροφή περισσότερων των 5000 σεισμικών γεγονότων. Τα προκαταρκτικά 3-Δ μοντέλα ταχυτήτων κυμάτων χώρου, υποδεικνύουν την παρουσία τεκτονικών μεγαδομών που συνδέονται με το Δυτικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου, το Ρήμα Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς, την Διατμητική Ζώνη της Αιτωλοακαρνανίας, καθώς και τα τεκτονικά βυθίσματα του Κορινθιακού Κόλπου και της Μεσσηνίας. Η προς ανατολάς κλίση και ο επιμερισμός του Ρήγματος Μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς, στην περιοχή μεταξύ Κεφαλονιάς και Λευκάδας, γίνεται εμφανής από την κατανομή των σεισμικών ταχυτήτων, ενώ καθίστανται διακριτές ΒΑ-ΝΔ διευθύνσεως ανωμαλίες που συνδέονται με κύριες οριζοντιολισθητικές δομές σε ΒΑ και Κεντρική Πελοπόννησο. Η συγκεκριμένη παρατήρηση, σε συνάρτηση με τα αποτελέσματα της αντιστροφής των τανυστών τάσης, μπορεί να σχετιστεί με την κατά 90˚ περιστροφή της διεύθυνσης του εφελκυστικού εντατικού πεδίου εκατέρωθεν αυτής της ζώνης.

Abstract

This region of western Greece has been frequently activated during the last decade, providing a large amount of enhanced quality new seismic information that was recorded by the Hellenic Unified Seismological Network (HUSN). In this work, the results of earthquake relocation, stress inversion and seismic traveltime tomography are presented, towards investigating the geodynamics of the study area. Inversion of ~2300 focal mechanisms indicates obliquity by 30˚ between shearing and the maximum horizontal stress along the major strike-slip faults, consistent with clockwise crustal rotation. Within the lower crust, the stress field appears to be constrained by larger scale deformation. Seismic velocity anomalies have been resolved by regional body-wave traveltime tomography, applying an iterative tomographic inversion scheme using phase data from more than 5000 seismic events. Preliminary 3D tomographic models indicate the presence of gross structures related with the western Hellenic Trench, the Cephalonia Transform Fault (CTF), the Aitoloakarnania shear zone, the Corinth Gulf and the Messinia graben. Dipping towards the east and segmentation of CTF between Cephalonia and Lefkas is evidenced by the resolved anomalies while a predominant NE-SW oriented low velocity zone observed in central Peloponnesus, related with

dextral strike-slip faulting, marks a 90° rotation of the extensional stress direction that is found to occur at both sides.



Εικόνα 1. Πάνω αριστερά: Αποτελέσματα αντιστροφής τάσης (Kassaras et al., 2016) και δεδομένων GPS (Chousianitis et al., 2015). Κάτω αριστερά: Ερμηνεία των ανωμαλιών ταχυτήτων εγκάρσιων κυμάτων χώρου στην περιοχή Κεφαλονιάς-Λευκάδας. Δεξιά: Εγκάρσιες στην ρηξιγενή ζώνης Κεφαλονιάς-Λευκάδας τομές κατανομής απόλυτων ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων από Βορρά προς Νότο και αντιπροσωπευτικοί μηχανισμοί γένεσης (Kassaras et al., 2016) .

Βιβλιογραφικές αναφορές

Chousianitis, K., Ganas, A., Evangelidis, C.P., 2015. Strain and rotation rate patterns of mainland Greece from continuous GPS data and comparison between seismic and geodetic moment release. J. Geophys. Res. Solid Earth 120, 3909-3931. http://dx.doi.org/10.1002/2014JB011762.

Kassaras, I., Vasilis Kapetanidis, V. and Karakonstantis, A., 2016. On the spatial distribution of seismicity and the 3D tectonic stress field in western Greece, Physics and Chemistry of the Earth, ISSN 1474-7065, http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.012.

SURVEY AND GEOMETRICAL ANALYSIS OF THE PIDIMA FAULT PLANE (MESSINIA, SW GREECE), USING TERRESTRIAL LASER SCANNER*

I. Karamitros[1], Al. Chatzipetros[1], Sp. Pavlides[1], A. Mouratidis[1], Ath. Ganas[2], I. Koukouvelas[3] and V. Zygouri[3]

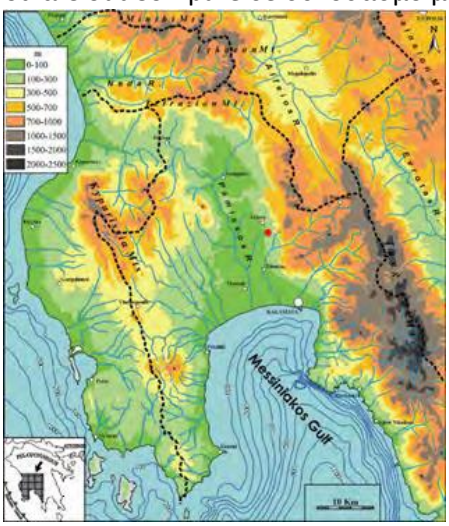
[1] Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece
[2] Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, 11810 Athens, Greece
[3] Department of Geology, University of Patras, 26500 Rion Patras, Greece

Περίληψη

Γεωτεκτονική τοποθέτηση: Το ρήγμα του Πηδήματος βρίσκεται στη Μεσσηνία (ΝΔ Πελοπόννησος). Είναι μέρος της ρηξιγενούς ζώνης Ανατολικής Μεσσηνίας και το ίχνος του βρίσκεται στους δυτικούς πρόποδες του Ταϋγέτου, στη γειτονία των οικισμών Πήδημα και Αρφαρά. Το υπόβαθρο της λεκάνης της Καλαμάτας στη Μεσσηνία αποτελείται από αλπικά πετρώματα των Ζωνών Γαβρόβου-Τρίπολης και Ωλονού-Πίνδου. Το κεντρικό μέρος της λεκάνης καλύπτεται από μεταλπικά Πλειοκαινικά και Τεταρτογενή ιζήματα, τα οποία επικάθονται ασύμφωνα στο υπόβαθρο. Η νεοτεκτονική δομή της περιοχής χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τεκτονικών λεκανών και κεράτων λόγω της δράσης ρηγμάτων ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης.

Δεδομένα: Η έρευνα επί της κατοπτρικής επιφάνειας του ρήγματος του Πηδήματος πραγματοποιήθηκε το Μάιο του 2015, με τη χρήση του επίγειου σαρωτή LIDAR ILRIS-(3D-HD). Η θέση σάρωσης βρισκόταν σε κάθετη απόσταση 10 m από την επιφάνεια και ο σαρωτής ρυθμίστηκε κατάλληλα ώστε το βήμα (χωρική ανάλυση) σάρωσης να είναι 1 mm. Σαρώθηκε όλη η αποκαλυμμένη ρηξιγενής επιφάνεια, εκτός από το ανώτερο τμήμα του νοτίου άκρου της λόγω πρακτικών δυσκολιών.

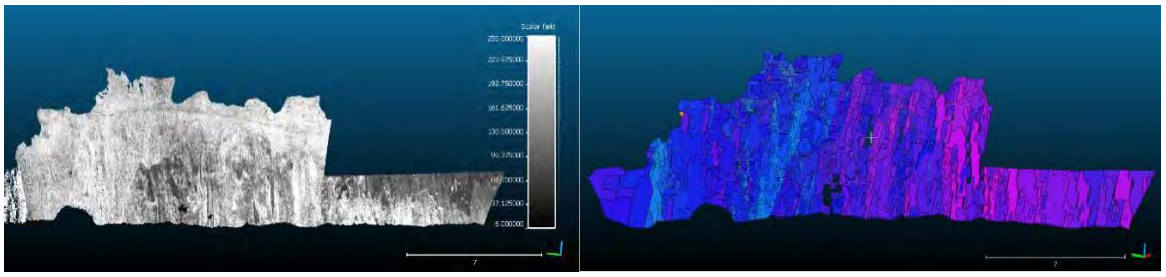
Επεξεργασία δεδομένων: ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των αλλαγών της γωνίας και της διεύθυνσης κλίσης στην κατοπτρική επιφάνεια, χρησιμοποιώντας συνδυασμό αναλυτικών υπολογιστικών εργαλείων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο FACETS του λογισμικού ανοικτού κώδικα CloudCompare σε συνδυασμό με το ArcMap™.



Εικόνα 1. Χάρτης της ΝΔ Πελοποννήσου με τη λεκάνη της Καλαμάτας. Το κόκκινο σημείο υποδεικνύει τη θέση μελέτης στο ρήγμα του Πηδήματος.

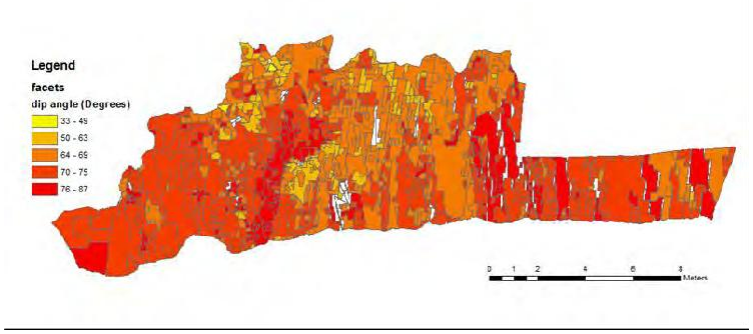
Καραμήτρος Ι., και συν.: Αποτύπωση και ανάλυση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατοπτρικής επιφά- νειας του ρήγματος στο Πήδημα Μεσσηνίας με τη χρήση επίγειου σαρωτή LIDAR.

Εικόνα 2. Η κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος στο Πήδημα, όπως αποτυπώθηκε από το σαρωτή κατά τη διαδικασία της σάρωσης.



Εικόνα 3. Αριστερά το νέφος σημείων από την κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος του Πηδήματος με τις τιμές έντασης. Δεξιά το αποτέλεσμα της ανάλυσης επίπεδων όψεων (planar facets), που δείχνει τη μεταβολή της διεύθυνσης κλίσης της επιφάνειας του ρήγματος.

Εικόνα 4. Μετά την εισαγωγή των αποτελεσμάτων στο ArcMap, κατέστη δυνατή η ταξινόμησή τους σε τρεις κύριες κλάσεις (194ο-233 ο, 234 ο-267 ο και 268 ο-301 ο), οι οποίες υποδεικνύονται με διαφορετικό χρώμα. Δεξιά παρουσιάζεται η στερεογραφική προβολή της διεύθυνσης κλίσης των στοιχείων. Η μέση διεύθυνση κλίσης είναι 249ο και η μέση γωνία κλίσης 69ο.



Εικόνα 5. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε ταξινόμηση πέντε κλάσεων για τη γωνία κλίσης (33ο-49ο, 50ο-63ο, 64ο-69ο, 70ο-75ο και 76ο-87ο).

Abstract

The Pidima fault is part of Eastern Messinia Fault Zone (EMFZ) in SW Peloponnesus region, Greece. The survey of the fault plane of the Pidima fault segment was carried out 10m perpendicular to the fault plane, using the ILRIS-(3D-HD) laser scanner. The goal of the expedition was to illustrate the dip and dip direction change across the fault plane sur-face with the use of FACETS plug-in of the CloudCompare™ along with the ArcMap™ software platforms.

THE POST-OROGENIC EXHUMATION OF THE PHYLLITE-QUARTZITE UNIT IN SOUTH-CENTRAL CRETE, GREECE*

S. Kotsirea, D. Baroutsos, M. Stika, V. Giannopoulos, K. Soukis, E. Skourtsos and S. Lozios

Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία περιγράφονται οι δομές που σχετίζονται με την εκταφή της ενότητας Φυλλιτών – Χαλαζιτών στη νότια κεντρική Κρήτη. Η εκταφή έλαβε χώρα μέσω διαδοχικών τεκτονικών επεισοδίων που χαρακτηρίζονται από σταδιακά χαμηλότερες θερμοκρασίες και φορά διάτμησης προς νότο.

Η σημαντικότερη τεκτονική δομή μακροσκοπικής κλίμακας είναι η Κρητική Αποκόλληση (Cretan Detachment), η οποία οριοθετεί τις υπερκείμενες αμεταμόρφωτες ενότητες από τις υποκείμενες μεταμορφωμένες. Στην περιοχή που μελετήθηκε η υπερκείμενη πλάκα (upper-plate, hanging wall) της αποκόλλησης περιλαμβάνει τις εξής ενότητες από την κατώτερη προς την ανώτερη: Ενότητα Τρίπολης, με παχυστρωματώδη ανθρακικά πετρώματα, Ενότητα Πίνδου, με χαρακτηριστικούς λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους και έναρξη φλύσχη στο Ανώτατο Κρητιδικό, Ενότητα Βάτου, που χαρακτηρίζεται από λιθολογική ποικιλία (σχιστοποιημένες λάβες και κλαστικοί σχηματισμοί, ανακρυσταλλωμένα ανθρακικά) και πολύπλοκη εσωτερική δομή που δεν επιτρέπει συμπεράσματα για τη λιθοστρωματογραφία της και το Κάλυμμα Οφιολίθων, με περιδοτίτες, σερπεντινίτες και αμφιβολίτες.

Η υπερκείμενη πλάκα χαρακτηρίζεται από την καταστροφή της καλυμματικής στήλης που σχηματίστηκε κατά την ΟλιγοΜειοκαινική κύρια αλπική παραμόρφωση των Εξωτερικών Ελληνίδων με την έντονη λέπτυνσή τους, η οποία συντελέστηκε κατά κύριο λόγο μέσω κανονικών ρηγμάτων μικρής έως μεγάλης κλίσης, τα οποία συνδέονται άμεσα με την Κρητική Αποκόλληση.

Η υποκείμενη πλάκα (lower plate, footwall) αποτελείται αποκλειστικά από τη μεταμορφωμένη ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών, η οποία περιλαμβάνει μετά-πηλίτες, μετά-ψαμμίτες, χαλαζίτες, μετά-ηφαιστειακά και ανθρακικές ενδιαστρώσεις. Οι ορυκτολογικές παραγενέσεις και η αδρόκοκκη φύλλωση S_n διαμορφώθηκαν σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης και σχετίζονται κυρίως με την πορεία ανόδου της ενότητας προς την επιφάνεια κατά το Μέσο - Άνω Μειόκαινο.

Η ζώνη της Κρητικής Αποκόλλησης εμφανίζει πάχος που κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως αρκετές δεκάδες μέτρα. Περιλαμβάνει συνεκτικούς ή συνηθέστερα μη συνεκτικούς κατακλασίτες προερχόμενους από την υπερκείμενη πλάκα, τα οποία έχουν υποστεί έντονη κατακλαστική παραμόρφωση, και πετρώματα από την οροφή της ενότητας Φυλλιτών - Χαλαζιτών που χαρακτηρίζονται από μία λεπτόκοκκη φύλλωση Sn+1, η οποία επικαλύπτει την προεγενέστερη Sn αδρόκοκκη φυλλωση της πρασινοσχιστολιθικής φάσης και επικαλύπτεται εν μέρει από κατακλασίτες. Η φύλλωση αυτή συνδέεται με το κύριο στάδιο εκταφής μέσω της Κρητικής Αποκόλλησης και το πέρασμα της ενότητας από τη ζώνη μετάβασης θραυσιγενούς-πλαστικής παραμόρφωσης (brittle-ductile transition).

Η εκταφή και η τελική άνοδος (exhumation and the final uplift) των Φυλλιτών – Χαλαζιτών συνεχίστηκε και ολοκληρώθηκε με την ανάπτυξη μίας δεύτερης γενεάς κανονικών ρηγμάτων μέσης και μεγάλης κλίσης με γενική κλίση προς νότο και με φορά ολίσθησης, προς τα νότια-νοτιοδυτικά, τα οποία τέμνουν την

*Κοτσιρέα Στ., και συν.: Η μετα-ορογενετική εκταφή της ενότητας φυλλιτών χαλαζιτών στη κεντρική νοτιά Κρήτη.

Κρητική Αποκόλληση. Από δυναμική και κινηματική σκοπιά, οι δομές αυτές θεωρείται ότι αποτελούν συνέχεια των προηγούμενων επεισοδίων.

Abstract

In this paper we describe the structural evolution of the Phyllite-Quartzite Unit in south Central Crete, focusing on the late exhumation-related stages. The exhumation took place through successive episodes that are characterized by gradually lower temperatures and top to South sense of shear.

The most significant large scale structure associated with the exhumation of the Phyllite-Quartzite Unit during the Middle-Late Miocene is the Cretan Detachment, which juxtaposes the tectonically overlying non metamorphosed units from the underlying lower-plate metamorphic units. In the studied area, the upper plate (hanging wall) to the Cretan Detachment, includes the following units, from base to top: the Tripolitza Unit, composed of thick bedded carbonate rocks, the deep marine Pindos Unit, with typical thin bedded limestones and flysch onset in the Late Cretaceous, the Vatos Unit, which presents a lithological variety (lavas with foliation and clastic formations, recrystallized carbonates) and a complicated inner structure and finally the Ophiolitic Nappe, with peridotites, serpentinites and amphibolites. The upper plate is characterized by the intense thinning of the nappe pile that was formed during the Eocene to Early-Miocene convergence, through a network of low- to high-angle normal faults, which are spatially and temporally associated with the Cretan Detachment. The footwall consists of the Phyllite-Quartzite, which comprises meta-pelites, meta-sandstones, meta-lavas intercalated with rare marble horizons. The lower part of the unit presents retrograde greenschist-facies mineral assemblages that form a coarse-grained Sn foliation. This event most probably is most probably related to the exhumation part of the P-T-t path.

The Cretan Detachment Zone has a thickness that is ranging from a few meters to several tens of meters. It includes rocks derived from the upper plate, which have undergone an intense cataclastic deformation forming a cohesive or most usually non-cohessive cataclasite, and rocks from the top of the Phyllite-Quartzite Unit that exhibit a bimodal character expresses by a fine-grained foliation Sn+1, and a ~N-S stretching lineation partially overprinted by cataclastic deformation. These structure record the main stages of exhumation and correspond to the passage of the unit through the brittle-ductile transition.

The final stages of exhumation and uplift of the Phyllite-Quartzite Unit was accomplished with the development of a second generation of medium to high angle normal faults, which dip to the South which intersect the Cretan Detachment. From dynamic and kinematic perspective, these structures are in continuation with the previous events.

LA-ICP-MS U-Pb DETRITAL ZIRCON DATING OF THE CYCLADIC BLUESCHIST UNIT ON HERAKLIA ISLAND (SOUTH CYCLADES, AEGEAN, GREECE)*

S. Laskari[1], K. Soukis[1], S. Lozios[1] and D. Stockli[2]

[1] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

[2] Department of Geological Sciences, Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin, USA

Περίληψη

Η νήσος Ηρακλειά, στο κέντρο περίπου του Αττικοκυκλαδικού μεταμορφικού συμπλέγματος συνδέει τις νήσους Νάξο και Ίο, στις οποίες εμφανίζονται Βαρίσκια προαλπικά πετρώματα και μεταμορφωμένα πετρώματα της Κυανοσχιστολιθικής Ενότητας των Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit). Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζουμε προκαταρκτικά αποτελέσματα από την εφαρμογή LA-ICP-MS U-Pb ραδιοχρονολόγησης σε ζιρκόνια σε συνδυασμό με λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:10.000 και τεκτονική ανάλυση.

Στη νήσο Ηρακλειά η Κυανοσχιστολιθική Ενότητα των Κυκλάδων παρουσιάζει λιθολογική ποικιλία με πολύχρωμα μάρμαρα και λευκά υπερμυλονιτικά μάρμαρα στο κεντρικό και βόρειο μέρος και χαλαζιακούς μαρμαρυγιακούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, με φακοειδείς ενστρώσεις ορθογνευσιακών πετρωμάτων στο νότιο και νοτιοδυτικό. Τα πετρώματα εμφανίζουν ομοιότητες με το νοτιοανατολικό τμήμα της Νάξου καθώς έχουν διατηρηθεί ορυκτά της ηωκαινικής κυανοσχιστολιθικής φάσης (κυρίως γλαυκοφανής) σε υπολειμματική μορφή ως εγκλείσματα σε πορφυροβλάστες αλβίτη της κυρίαρχης ανάδρομης ολιγομειοκαινικής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Τα ορυκτά της πρασινοσχιστολιθικής φάσης διαμορφώνουν την κυρίαρχη (μυλονιτική) φύλλωση, πάνω στην οποία παρατηρείται ισχυρή γράμμωση έκτασης με διεύθυνση ~B-N, παράλληλα με τους άξονες ισοκλινών πτυχών που διακρίνονται. Όπως και στη γειτονική νήσο Ίο, οι κινηματικοί δείκτες υποδηλώνουν κυρίως φορά διάτμησης προς Βορρά αλλά παρατηρήθηκαν σποραδικά και ζώνες διάτμησης με φορά διάτμησης προς Νότο.

Από την εφαρμογή της μεθόδου LA-ICP-MS U-Pb σε ζιρκόνια σχιστολιθικών και γνευσιακών λιθολογιών προέκυψαν μέγιστες ηλικίες απόθεσης που κυμαίνονται από τα ~550Ma (Παναφρικανική ορογένεση) στους κατώτερους ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, στα ~230Ma στα ορθογνευσσιακά και τέλος στα ~80Ma (Ανώτερο Κρητιδικό). Με βάση αυτές τις ηλικίες και σε συνδυασμό με τη γεωλογική χαρτογράφηση και τεκτονική ανάλυση η τεκτονοστρωματογραφική διάρθρωση της νήσου Ηρακλειάς είναι αρκετά περίπλοκη.

Abstract

The small Heraklia Island, located at the center of the Attic-Cycladic core complex in the Aegean, is bridging the gap between the islands of Naxos and Ios, in which Variscan basement and Cycladic Blueschist Unit rocks crop out. In this paper we present preliminary results obtained with LA-ICP-MS U-Pb detrital zircon dating combined with detailed geological mapping and structural observations.

Λάσκαρη Σ., και συν.: LA-ICP-MS U-Pb σε ζιρκόνια της Κυανοσχιστολιθικής Ενότητας των Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit) στη νήσο Ηρακλειά (Νότιες Κυκλάδες, Αιγαίο, Ελλάδα).

On Heraklia Island the Cycladic Bluschist Unit (CBU) comprises variegated marbles, white ultramylonitic marbles (central and northern part of the island) and quartz-mica and calc-schists interbedded with lenses of orthogneissic rocks (south and southwest). The CBU rocks of Heraklia bear similarities with the sequences in SE Naxos as they preserve relics of the Eocene HP event in the form of glaucophane inclusions

within albite porphyroblasts of the retrograde greenschists facies assemblages. The greenschist facies minerals form a penetrative (mylonitic) foliation and a ~N-S stretching lineation, subparallel to isoclinal folding in all scales. As on Ios Island, kinematic indicators mostly reveal top to N sense of shear, but top to S shear bands are sparsely observed.

LA-ICP-MS U-Pb detrital zircon dating of schists and gneisses yielded diverse maximum deposition ages (MDA) that span from ~550Ma (Panafrican) in the lowermost calc-schists, to Triassic in the ortogneisses (~230Ma) and finally to late Cretaceous in the quartz-mica schists (~80Ma). These ages point to a complicated tectonostratigraphy and highlight the areas that need further studying.

STRUCTURAL CONTROL OF PERAMA CAVE (IOANNINA, W. GREECE)*

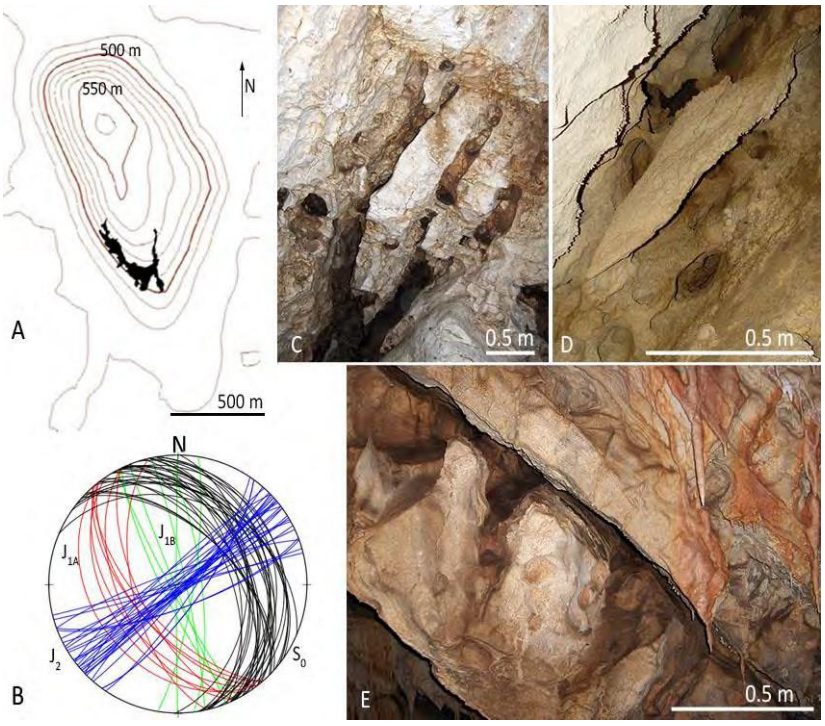
G. Lazaridis

Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

Περίληψη

Το σπήλαιο του Περάματος είναι ένα από τα μεγαλύτερα σπήλαια στην Ελλάδα που έχει διευθετηθεί τουριστικά. Αναπτύσσεται σε παχυστρωματώδεις ασβεστολίθους του Άνω Κρητιδικού, που σχηματίζουν έναν απομονωμένο χαμηλό λόφο, το λόφο Γκόριτσα (Εικ. 1), μέσα στη λεκάνη Παμβώτιδα. Παρά της σημαντική οριζόντια ανάπτυξή του (εμβαδό 14.300 m^2, συνολικό μήκος διαδρόμων 1100 m), η υψομετρική διαφορά από το χαμηλότερο έως το υψηλότερο σημείο του είναι μικρή (35 m).

Στις πρώτες σπηλαιολογικές έρευνες καθορίστηκαν για το σπήλαιο τρεις περιοχές με «διαφορετικό τρόπο γένεσης» (Πετρόχειλος, 1956): η πρώτη περιοχή κοντά στην είσοδο, χαρακτηρίζεται από «ψευδείς γαλαρίες», η δεύτερη από «αίθουσες» και η τρίτη από «αληθείς γαλαρίες». Αν και η άποψη αυτή σήμερα δεν συμβαδίζει με τις θεωρίες και απόψεις που είναι αποδεκτές για τη σπηλαιογένεση, εμπεριέχει μία βασική αρχή: η ανάπτυξης του σπηλαίου εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τη γεωμετρία των ασυνεχειών στο ασβεστολιθικό πέτρωμα. Με την παρούσα εργασία παρουσιάζεται η ανάλυση των ασυνεχειών στα ασβεστολιθικά πετρώματα και προσδιορίζεται ο ρόλος τους στο σχηματισμό του Σπηλαίου Περάματος.



Εικόνα. 1. Α. Ο λόφος Γκόριτσα και το Σπήλαιο Περάματος σε τοπογραφικό διάγραμμα, Β. Ισοεμβαδικό (κάτω ημισφαίριο) ή διάγραμμα Schmidt των ασυνεχειών (n=78), C. Διάλυση στις διακλάσεις του συνόλου J_{1A}, ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, D. και Ε. Μορφές φρεατικής διάλυσης κατά μήκος της στρώσης S_0.

Η μελέτη βασίζεται στην εκ νέου χαρτογράφηση του σπηλαίου (με ~160 σταθμούς χαρτογράφησης, με αποστασιόμετρο, πυξίδα και κλισίμετρο κλπ.) και σε μετρήσεις και παρατηρήσεις των ασυνεχειών σε 18

Λαζαρίδης, Γ..: Η γεωλογική δομή του Σπηλαίου Περάματος (Ιωάννινα, Δ. Ελλάδα).

διαφορετικές τοποθεσίες στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο του σπηλαίου. Οι ασυνέχειες αυτές αφορούν επιφάνειες στρώσης και ρηξιγενείς ασυνέχειες και η ανάλυση τους περιλαμβάνει την κατασκευή ροδοδιαγραμμάτων και διαγραμμάτων Schmidt.

Το σπήλαιο αποτελείται από δύο κύρια τμήματα που αναπτύσσονται στις δύο αντίθετες πλαγιές του λόφου προς την νότια απόληξη του λόφου όπου και ενώνονται (Εικ. 1Α). Το δυτικό, που είναι και το μεγαλύτερο σε διαστάσεις έχει γενική διεύθυνση ανάπτυξής ΒΒΔ-ΝΝΑ, ενώ το ανατολικό έχει γενική διεύθυνση σχεδόν Β-Ν. Η δομή των μεγαλύτερων χώρων-αιθουσών του σπηλαίου επηρεάζεται από καταρρεύσεις τμημάτων της οροφής, που δημιούργησαν «δόμους κατάρρευσης» και τροποποιούν την αρχική εικόνα του σπηλαίου από την καρστική διάλυση. Χαρακτηριστικά, η έξοδος από το σπήλαιο γίνεται μέσω ενός τέτοιου δόμου κατάρρευσης που φτάνει ως την επιφάνεια του λόφου (εξαιτίας και της επιφανειακής διάβρωσης). Ο τύπος της διάλυσης σε όλη την έκταση του σπηλαίου είναι παρόμοιος με βάση τις μορφές διάλυσης που παρατηρούνται και υποδεικνύουν φρεατικές συνθήκες σπηλαιογένεσης.

Με βάση τις μετρήσεις που έγιναν αναγνωρίστηκε ότι οι Ανω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι κλίνουν γενικά προς τα ΑΒΑ με ενδιάμεσες γωνίες κλίσεις (Κατεύθ. Κλίσης (ΚΚ)-Γωνία Κλίσης (ΓΚ): 060°-40°) και θραύεται με τα κύρια σύνολα ασυνεχειών J1A, J1B και J2, με αντιπροσωπευτικές τιμές ΚΚ-ΓΚ: J1A 237°-55°, J1B 080°-83° και J2 143°/84°. Γενικά επικρατεί η διάλυση στις επιφάνειες στρώσης S0, όπως φαίνεται τόσο στο ανατολικό, όσο και στο δυτικό τμήμα του σπηλαίου, ενώ από τις ρηξιγενείς ασυνέχειες, τα σύνολα J1A και J1B φαίνεται να συνδράμουν στο σχηματισμό του δυτικού και ανατολικού τμήματος του σπηλαίου, αντίστοιχα. Υποδεέστερης σημασίας είναι το σύνολο J2, ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης γιατί φαίνεται να ευνοεί το σχηματισμό ορισμένων περασμάτων με αυτόν τον προσανατολισμό στο δυτικό τμήμα του σπηλαίου. Επίσης, το σύνολο ασυνεχειών J2, είναι σημαντικό στη διαμόρφωση του διακόσμου του σπηλαίου. Σ' αυτό συνηγορεί το γεγονός ότι η πλειονότητα μεγάλων συμπλεγμάτων σπηλαιοθεμάτων που μετρήθηκαν (n=23) είναι αυτής της διεύθυνσης.

Abstract

The Perama show cave in Ioannina (Epirus, W. Greece) is one of the largest in Greece. It is developed in Upper Cretaceous limestones of the Ionian Zone that form the isolated, low hill of Goritsa within the Pamvotida basin. This study investigates the geology and structural control of the cave formation. The Upper Cretaceous limestones of Goritsa hill are medium to thick-bedded with beds (S0) dipping towards ENE at intermediate dip angles (DipDir [DD]-DipAng [DA]: 060o-40o), and are fractured by three sets of discontinuities J1A, J1B and J2, with J1A: 237°-55°, J1B: 080°-83° and J2: 143°/84°. Bedding planes are affected by dissolution similarly in both parts of the cave. The discontinuity sets J1A and J1B control the formation of the west and east part of the cave, respectively. On the other hand, the J2 set, although favors the formation of some small passages in the west part of the cave, is of minor importance in the cave pattern. However, this set seems to be important to the cave decoration, because large speleothem assemblages are formed along this set.

Acknowledgements

Ευχαριστώ τη γεωλόγο Σ. Παππά για τη βοήθεια της κατά τη διάρκεια εργασίας στο πεδίο και τον Αναπλ. Καθηγητή Μ. Τρανό για τη συζήτηση επί των αποτελεσμάτων και τις συμβουλές του. Για την υποστήριξη που παρείχαν κατά την εργασία πεδίου από τον Οργανισμό του Σπηλαίου Περάματος ευχαριστώ τον κ. Κωσταντίνο Γκόγκο και αφιερώνω αυτήν την εργασία στον εκλιπόντα Γιάννη Ζαλάβρα.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Πετρόχειλος Ι., 1956. Το σπήλαιο Περάματος Ιωαννίνων. Δελτίο της Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρείας, 3(5-6): 117-133.

DETERMINATION OF INDIVIDUAL NEOTECTONIC BLOCKS USING THE TERRAIN RUGGEDNESS INDEX (TRI): APPLICATION TO THE HERAKLION BASIN, CRETE ISLAND*

IL. Lazos and Al. Chatzipetros

Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός νεοτεκτονικών τεμαχών στη λεκάνη του Ηρακλείου (Κρήτη), με βάση γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Λαμβάνοντας υπόψη το ιδιαίτερα ενεργό γεωτεκτονικό περιβάλλον της Κρήτης, παρατηρούνται αρκετές νεοτεκτονικές παραμορφωτικές φάσεις στα ανεξάρτητα τεμάχη του φλοιού, οι οποίες αποτυπώνονται στο ανάγλυφο. Η εκτίμηση της επίδρασης της νεοτεκτονικής στο ανάγλυφο πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS σε τρία στάδια:

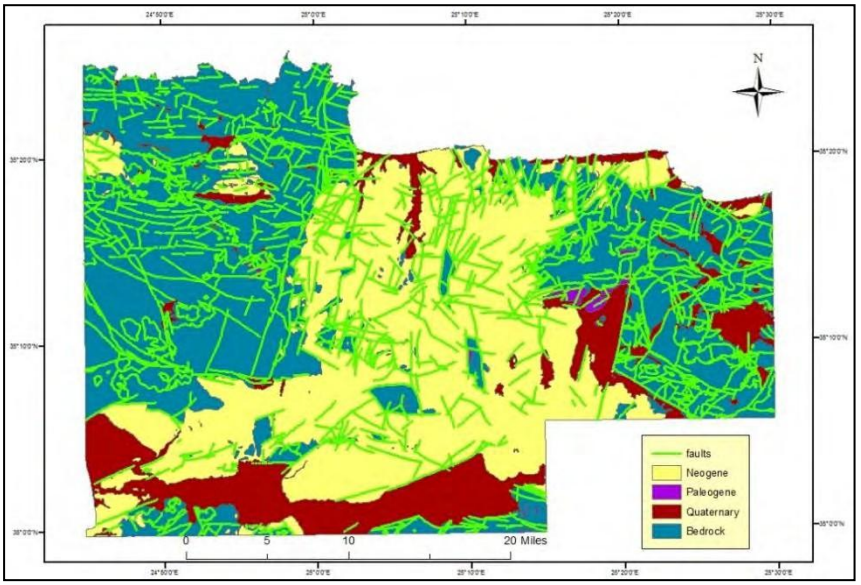
1. Ψηφιακή αποτύπωση της λιθολογίας και των κύριων τεκτονικών δομών της περιοχής. Η ψηφιοποίηση έγινε με τη χρήση ενός ημιαυτόματου περιβάλλοντος GIS, χρησιμοποιώντας τους δημοσιευμένους χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. Η κλίμακα της ψηφιοποίησης ήταν 1:10.000 για τη λιθολογία και 1:5.000 για τις τεκτονικές δομές. Ακολούθησε η ομαδοποίηση των λιθολογικών τύπων σε ομοειδείς ομάδες με βάση την ηλικία τους (Εικ. 1). Το σκεπτικό της ομαδοποίησης ήταν ότι συναφείς ηλικιακά σχηματισμοί ανταποκρίνονται με παρόμοιο τρόπο στις διαδικασίες της διάβρωσης και επομένως θα έχουν παρόμοια ποσοτικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν λιθολογικούς τύπους ηλικίας: α) Τεταρτογενούς, β) Νεογενούς, γ) Παλαιογενούς και δ) Παλαιοζωικού – Μεσοζωικού (πετρώματα υποβάθρου).
2. Καθορισμός νεοτεκτονικών τεμαχών (blocks) με τη χρήση λιθολογικών και τεκτονικών κριτηρίων. Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε τέσσερα νεοτεκτονικά τεμάχη: α) το πρώτο τέμαχος βρίσκεται στα δυτικά και αποτελείται βασικά από πετρώματα του υποβάθρου, με μικρή συμμετοχή πετρωμάτων από τις υπόλοιπες ομάδες, β) το δεύτερο τέμαχος βρίσκεται στα ανατολικά, αποτελείται επίσης κυρίως από πετρώματα του υποβάθρου τα οποία καλύπτονται αρκετά εκτεταμένα από Τεταρτογενείς σχηματισμούς, γ) το τρίτο τέμαχος βρίσκεται μεταξύ των δύο πρώτων, αποτελείται κυρίως από Νεογενείς σχηματισμούς, ενώ απαντώνται επίσης το σύνολο των Παλαιογενών σχηματισμών, καλύμματα του υποβάθρου και λίγα Τεταρτογενή ιζήματα, δ) το τέταρτο τέμαχος βρίσκεται στο νότιο μέρος της περιοχής μελέτης και αποτελείται κυρίως από Τεταρτογενείς σχηματισμούς.
3. Υπολογισμός του Δείκτη Τραχύτητας Αναγλύφου (Terrain Ruggedness Index – TRI), Ο δείκτης TRI υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

a. $$TRI = \sqrt{\left| H_{\max}{}^2 - H_{\min}{}^2 \right|}$$

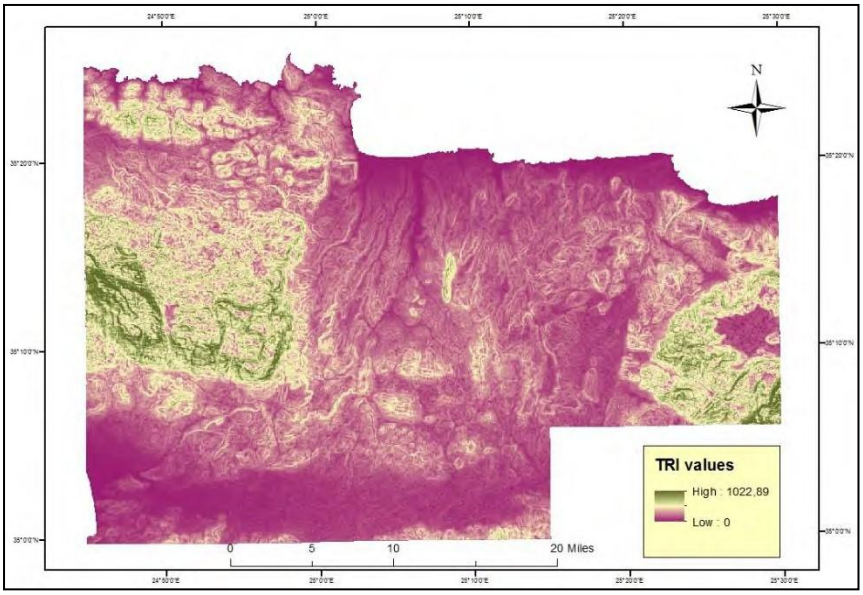
b. όπου TRI = Δείκτης Τραχύτητας Αναγλύφου, H_{max}= μέγιστα υψόμετρα και H_{min}= ελάχιστα υψόμετρα. Ο δείκτης TRI ταξινομείται σε τρεις κατηγορίες: υψηλός, ενδιάμεσος και χαμηλός. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, τα τεμάχη 1 και 2 χαρακτηρίζονται ως περιοχές ενδιάμεσου TRI, αλλά περιλαμβάνουν και σημαντικές «νησίδες» περιοχών με υψηλό TRI. Γενικά αυτά τα δύο τεμάχη θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως περιοχές με TRI άνω του μέσου όρου. Στο τρίτο τέμαχος παρατηρείται μεγάλο ποσοστό περιοχών ενδιάμεσου και διάσπαρτες περιοχές υψηλού TRI. Τέλος, το τρίτο τέμαχος είναι ως επί το πλείστων περιοχή χαμηλού TRI.

* Λαζος Ηλ., και συν.: Καθορισμός ανεξάρτητων νεοτεκτονικών τεμαχών με τη χρήση του δείκτη τραχύτητας αναγλύφου (TRI): εφαρμογή στη λεκάνη του Ηρακλείου, Κρήτη.

Η σύγκριση της χωρικής κατανομής του δείκτη TRI με τα καθορισμένα τεμάχη, δείχνει ότι υπάρχει καλός συσχετισμός τόσο με την ηλικία των λιθολογικών τύπων (υψηλή τραχύτητα αντιστοιχεί σε παλαιότερα πετρώματα ενώ χαμηλή σε νεότερα), όσο και των κύριων ρηξιγενών δομών της περιοχής. Φαίνεται ότι υψηλότερες τραχύτητες συνδέονται με ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες είναι πιο ενεργές και γι' αυτό επηρεάζουν περισσότερο το ανάγλυφο και τις επακόλουθες διαδικασίες διάβρωσης. Η εξέλιξη αυτής της εφαρμογής με δοκιμή και επικύρωση και σε άλλες περιοχές ενεργών ρηγμάτων, μπορεί να οδηγήσει σε μία νέα μεθοδολογία εκτίμησης του βαθμού ενεργότητας ρηξιγενών ζωνών με συνεπακόλουθες εφαρμογές στη νεοτεκτονική ανάλυση και στην εκτίμηση σεισμικής επικινδυνότητας.



Εικόνα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης με τους ομαδοποιημένους λιθολογικούς τύπους και τις κύριες τεκτονικές δομές (ρήγματα).



Εικόνα 2. Κατανομή του Δείκτη Τραχύτητας Αναγλύφου (TRI) στην περιοχή μελέτης.

Abstract

The objective of the present paper is the identification of neotectonic blocks based on geomorphological features of the study area (Heraklion basin, Crete Island). The individual crustal blocks are deformed more or less uniformly in successive deformation phases. In order to estimate the overall effect of neotectonic deformation three steps were followed: 1) Digitalization of the lithology and the main tectonic features of the area in a semi-automatic GIS environment, 2) Determination of neotectonic blocks using lithological and tectonic criteria and 3) Calculation of the Terrain Ruggedness Index (TRI). The spatial distribution of the TRI values leads to the conclusion that they are related to the age of the lithological types and the major faults of the study area.

MIDDLE TO LATE MIOCENE TECTONOTHERMAL EVOLUTION OF SOUTH ATTICA, GREECE*

S. Lekkas[1], K. Soukis[1], S. Seman[2], D. Stockli[2], E. Skourtsos[1], H. Kranis[1], S. Lozios[1] and A. Alexopoulos[1]

[1] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

[2] Department of Geological Sciences, Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin, USA

Περίληψη

Γεωλογική χαρτογράφηση και τεκτονική ανάλυση σε συνδυασμό με θερμοχρονομετρία (U-Th)/He σε ζιρκόνια και απατίτες αποκάλυψε την τεκτονοστρωματογραφική διάρθρωση και διαφώτισε τα τελευταία στάδια εκταφής των ενοτήτων της Νότιας Αττικής. Η λεπτομερής χαρτογράφηση της Νότιας Αττικής έδειξε ότι η κύρια δομή που ελέγχει την τεκτονοστρωματογραφία της περιοχής είναι μία σχεδόν οριζόντια αποκόλληση, η Αποκόλληση της Νότιας Αττικής, η οποία φέρνει σε επαφή την ενότητα Καμάριζας στο δάπεδο (footwall) με τις ενότητες Λαυρίου και Μπερζέκου στην οροφή της (hanging wall). Η σχετικά αυτόχθονη ενότητα Καμάριζας περιλαμβάνει εναλλαγές σχιστόλιθων με μάρμαρα και εμφανίζεται μόνο στη Νότια Αττική. Η κύρια φύλλωσή της είναι μία λεπτόκοκκη μυλονιτική φύλλωση S_{n+1}, η οποία παραμορφώνει μία παλαιότερη πρασινοσχιστολιθική σχιστότητα S_n, και συνοδεύεται από μία ισχυρή ΒΔ-ΝΑ (~N030-210) γράμμωση έκτασης L_{n+1}. Οι ενότητες της οροφής τέμνονται σε συγκεκριμένα επίπεδα της στήλης, από μια σειρά κανονικών ρηγμάτων μικρής έως μέτριας κλίσης που σταματούν στο επίπεδο της αποκόλλησης. Η ενότητα Λαυρίου περιλαμβάνει σχιστόλιθους που περιέχουν σώματα μεταγάββρων, σε εναλλαγές με μάρμαρα Μεσοζωικής ηλικίας και η κυρίαρχη φύλλωση είναι ένας πτυχοσχισμός S_{n+1} που πτυχώνει μία παλαιότερη σχιστότητα S_n πρασινοσχιστολιθικής φάσης και συνοδεύεται από μία γράμμωση έκτασης/διατομής με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ έως ΒΑ-ΝΔ. Η ανώτερη ενότητα Μπερζέκου εμφανίζεται υπολειμματικά σε δύο θέσεις και φέρει πολλές ομοιότητες με την ενότητα Ανατολικής Ελλάδας. Παρά την έντονη κυκλοφορία ρευστών διατηρεί σε σημαντικό βαθμό τα αρχικά ιζηματογενή χαρακτηριστικά. Η ζώνη της Αποκόλλησης της Νότιας Αττικής περιλαμβάνει κυρίως το υπερμυλονιτικό Ανώτερο Μάρμαρο Καμάριζας αλλά και τη βάση της ενότητας Λαυρίου. Η έντονη κατακλαστική παραμόρφωση κατά θέσεις έχει επικαλύψει τις προγενέστερες μυλονιτικές δομές. Πληθώρα κινηματικών δεικτών φανερώνουν ότι η Αποκόλληση της νότιας Αττικής έχει φορά διάτμησης προς νότο. Η εφαρμογή θερμοχρονομετρικής μεθόδου (U-Th)/He σε ζιρκόνια και απατίτες προσδιόρισε τα τελευταία στάδια ανόδου και ψύξης των πετρωμάτων της οροφής και του δαπέδου της Αποκόλλησης της Νότιας Αττικής. Σύμφωνα με αυτά, υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των ηλικιών κατά τις οποίες τα πετρώματα διήλθαν από το θερμοκρασιακό εύρος των ~180-120 °C και ~40-80 °C (Zr and Ap Helium Partial Retention Zone αντίστοιχα). Η ενότητα Καμάριζας έδωσε ηλικίες που κυμαίνονται μεταξύ 9-6Ma, όπως συμβαίνει στη Σέριφο και στην Κέα (Grasemann et al., 2011). Αντίθετα, για την ενότητα Λαυρίου οι ηλικίες προσδιορίστηκαν κυρίως στο Μέσο Μειόκαινο (16-12 Ma), όπως συμβαίνει στη νήσο Κύθνο (Grasemann et al., 2011). Για την ενότητα Μπερζέκου οι ηλικίες είναι λίγο παλαιότερες (16-17Ma). Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, τα πετρώματα της Νότιας Αττικής ανήλθαν σε πολύ μικρό βάθος από την επιφάνεια (<2 χλμ) κατά το Μέσο – Άνω Μειόκαινο, μέσω μίας αποκόλλησης λιθοσφαιρικής κλίμακας την Αποκόλληση της Νότιας Αττικής. Τεκτονικά, κινηματικά και θερμοχρονομετρικά δεδομένα συνδέουν άμεσα την Αποκόλληση της Νότιας Αττικής με το Σύστημα Αποκολλήσεων των Δυτικών Κυκλάδων (West Cycladic Detachment System) και τις μεταμορφωμένες ενότητες της Αττικής με τα Κυανοσχιστολιθική Ενότητα των Κυκλάδων (Cycladic Blueschist Unit).

Λέκκας Σ., και συν.: Η τεκτονοθερμική εξέλιξη της Νότιας Αττικής κατά το Μέσο – Άνω Μειόκαινο..

Abstract

A multidisciplinary study that combined geological mapping, structural analysis and U-Th/He thermochronometry revealed the tectonostratigraphy and late stage exhumation of the units in South Attica.

The main structure controlling the tectonostratigraphy of the area is a sub-horizontal detachment fault, the South Attica Detachment (SAD), which juxtaposes the metamorphosed Kamariza Unit in the footwall and Lavrion Unit and Berzekos Unit in the hanging wall. The lowermost Kamariza Unit comprises marble-schist alternations and it is only exposed at southeast Attica. The dominant foliation is a mylonitic foliation Sn+1 superposed on a previous greenschists facies coarse-grained foliation Sn and it is accompanied by a NE-SW stretching lineation Ln+1.

The hanging wall is cut along specific tectonostratigraphic levels by a series of low-angle to medium-angle normal faults that root in the detachment zone. Lavrion Unit consists mainly of schists with blocks of metagabbros and massive to platy marbles. The main foliation is a compressional crenulation cleavage Sn+1 with an ENE-WSW to NE-SW stretching and/or intersection lineation that deforms the greenschists-facies coarse-grained foliation Sn. The uppermost Berzekos Unit with Sub-Pelagonian affinities has experienced massive fluid infiltration but still preserves significant sedimentary features.

The South Attica Detachment zone includes mainly the ultramylonitic Upper Kamariza Marble and the base of the overlying Lavrion Unit. Intense cataclastic deformation has overprinted the ultramylonitic fabric in the ultramylonite and the greenschist facies foliation of the overlying Lavrion Unit rocks. Abundant kinematic indicators in the footwall and the South Attica Detachment zone clearly point to a top-to-SW sense of shear.

Zircon and apatite (U-Th)/He thermochronometry was applied in order to constrain the late thermal evolution of the hanging wall and footwall rocks. The results show that there is a significant shift between the time that the upper and lower plate rocks were exhumed through the Zr and Ap Helium Partial Retention Zone (~180-120 °C and ~40-80 °C respectively). The lower plate Kamariza Unit constrains late-stage brittle deformation on the SAD at 6-9 Ma, similar to data from the islands of Kea and Serifos (Grasemann et al., 2011). On the other hand, Lavrion Unit records zircon (U-Th)/He ages in the middle Miocene, (16-12 Ma), similar to ages reported for the island of Kythnos (Grasemann et al., 2011). Moreover, Zhe ages from the uppermost Berzekos Unit cluster at 16 -17 Ma.

According to the results of the study, the units of South Attica were brought very close to the surface (<2km) in the Middle to Late Miocene, through a crustal scale detachment. Structural, kinematic and thermochronometric evidence directly link the SAD with the West Cycladic Detachment System and the metamorphosed rocks of South Attica with the Cycladic Blueschist Unit.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Grasemannn, B., Schneider, D.A., Stockli, D.F., and Iglseder, C., 2011, Miocene bivergent crustal extension in the Aegean: Evidence from the western Cyclades (Greece). Lithosphere 4, 23–39.

NEOTECTONIC ACTIVITY AND POTENTIAL GEOTHERMAL FIELDS IN CRETE*

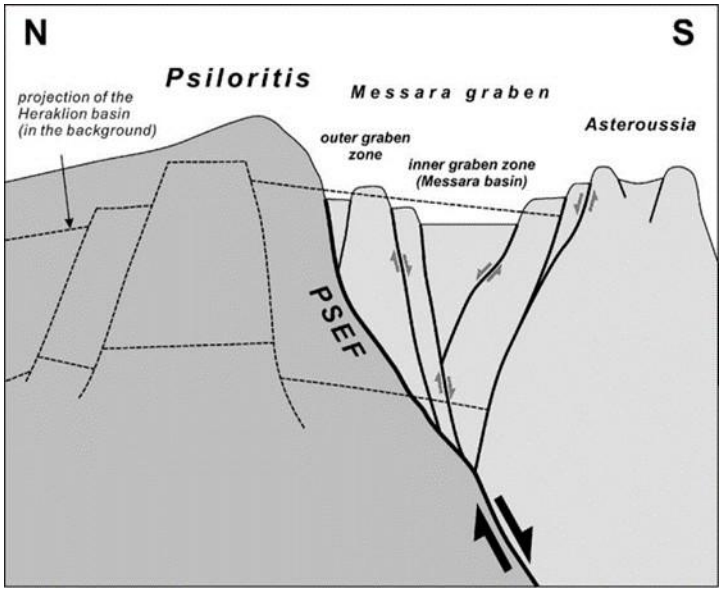
E. Manoutsouglou[1], N. Spanoudakis[1], M. Amvrazis[1], E. Smpokos[1], K. Boutsakis[1], A. Agrimaki[1], E. Steiakakis[1] and K. Voudouris[2]

[1] School of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, 731 00 Chania, Greece
[2] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί κεντρικό στόχο σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αξιόλογες προσπάθειες για τον εντοπισμό, τη συστηματική καταγραφή και εν μέρει την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στον ελληνικό χώρο. Παρόλα αυτά όμως ελάχιστα είναι τα στοιχεία σχετικά με πιθανά γεωθερμικά πεδία στην Κρήτη. Πέρα από κάποιες ενδείξεις στην Ανατολική και Δυτική Κρήτη, στην Κεντρική Κρήτη στην ευρύτερη περιοχή της Μεσσαράς έχουν εντοπιστεί αυξημένες θερμοκρασίες σε υδρογεωτρήσεις στις περιοχές Περί και Πλάτανος. Η αυξημένη θερμοκρασία των νερών των υδρογεωτρήσεων, που έχει μετρηθεί και καλοκαιρινούς (ξηρή περίοδος), αλλά και σε χειμερινούς μήνες (υγρή περίοδος) υποδηλώνει την ύπαρξη πιθανών γεωθερμικών πεδίων στην ευρύτερη περιοχή. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση αποτελεσμάτων μετρήσεων και αναλύσεων: της θερμοκρασίας του νερού, του χημισμού, τον χαρακτηρισμό των νερών και την σύγκρισή τους μεταξύ δύο διαφορετικών περιόδων (ξηρής και υγρής).Παράλληλα, με υποστήριξη πληθώρας γεωλογικών στοιχείων γίνεται χρήση των δεδομένων αυτών σε συγκεκριμένα γεωθερμόμετρα. Οι δύο πιθανοί γεωθερμικοί ταμιευτήρες εντοπίζονται εντός των αλπικών σχηματισμών και πολύ πιθανώς εντός των ανθρακικών σχηματισμών της Ζώνης της Τρίπολης. Στεγανό υπόβαθρο του πιθανού γεωθερμικού υδροφορέα αποτελούν τμήματα του Φυλλιτικού καλύμματος, (είτε οι φυλλίτες – χαλαζίτες, είτε ο σχηματισμός γύψων – ραουβακών). Το συνολικό πάχος των επάλληλων τεκτονικών ακολουθιών, της Πίνδου, της Τρίπολης και της υποκείμενης τεκτονικής ενότητας αυτής, του Φυλλιτικού καλύμματος, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ακόμα και εντός της Μεσσαράς, όπου εμφανίζονται εντός της εκτεταμένης ακολουθίας του Νεογενούς, τα τεκτονικά παράθυρα μικρών σχετικά διαστάσεων της ζώνης Πίνδου και της Τρίπολης. Θεωρώντας, μια μέση γεωθερμική βαθμίδα ίση με 30 °C/Km, οι τιμές της θερμοκρασίας (34 °C) που έχουν μετρηθεί σε δείγματα νερού στις γεωτρήσεις στις περιοχές Περί και Πλάτανος δεν δικαιολογούνται για το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων, που είναι στα 300 m. Μία εξήγηση για τις αυξημένες τιμές είναι ότι η μέση θερμική ροή που έχει υπολογιστεί στα 60 mW/m2 για την περιοχή της Μεσσαράς, αυξάνεται κατά μήκος των μεγάλων ρηγματογώνων ζωνών, εντός των οποίων κυκλοφορεί το νερό και οι οποίες είναι ενεργές ήδη από το Μέσο Μειόκαινο και δραστηριοποιήθηκαν κατ' επανάληψη (Peterek & Schwarze, 2004). Η αύξηση της θερμικής ροής στις μεγάλες ρηγματογώνες ζώνες, μπορεί να συνδέεται με αύξηση της τιμής της γεωθερμικής βαθμίδας. Με τη σειρά της η αυξημένη τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας θα μπορούσε να συνδέεται είτε με μια πιθανή ύπαρξη πλαγιογρανιτικών σωμάτων εντός της τεκτονικής ακολουθίας των ανωτέρων ενοτήτων που επηρεάζονται και γειτνιάζουν με αυτές τις ρηγματογώνες ζώνες, είτε με την ύπαρξη ανυδριτών στο κλαστικό υπόβαθρο της Ζώνης της Τρίπολης που μετατρέπονται με εξώθερμη αντίδραση με την παρουσία νερού σε γύψους.

Μανούτσογλου Ε., και συν.: Νεοτεκτονική δραστηριότητα και πιθανά γεωθερμικά πεδία στην Μεσσαρά, Κρήτη.



Εικόνα 1. Σχηματικό διάγραμμα ροής κατά μήκος ρηγματογόνων ζωνών. Ποσότητες νερού κατεισδύουν στις νότιες παρυφές του Ψηλορείτη πιθανώς εντός της μεγάλης ρηγματογόνου ζώνης, θερμαίνονται σε βάθος χιλιομέτρων και τα θερμά νερά ανέρχονται στο αντιθετικό ρήγμα που επιφανειακά διέρχεται από τις βόρειες παρυφές των Αστερουσίων (Peterek & Schwarze, 2004, τροποποιημένο).

Abstract

The utilization of renewable energy sources is a main target at a local and global level. The past few years, great efforts have been made in Greece for the detection, recording and partly for the development of geothermal potential. Apart from some indications in eastern and western Crete, increased temperatures of groundwater were detected in irrigation wells, located at Peri and Platanos Villages, in the Messara valley (central Crete). More specifically, increased water temperature was detected in wet and dry periods of 2015 and 2016, indicating that potential geothermal systems exist in the area. The aim of this paper is to present measurements and results analyses regarding water temperature, water chemistry, characterization and their comparison in two different time periods (dry and wet seasons). Moreover, geothermometry and geological evidence are utilized to support the existence of low enthalpy reservoirs hosted in the Alpine formations and probably within the carbonate formations of Tripolis zone. A possible explanation for the increased water temperature is that the mean heat flux - calculated at 60 mW/m2 in the region of Messara - increases along major fault zones within which the water circulates. These major fault zones are active since the Middle Miocene and they have repeatedly reactivated (Peterek and Schwarze 2004). The increase in thermal flux in these major fault zones could be associated with an increased geothermal gradient. In turn, the increased geothermal gradient could be related to either a possible existence of plagiogranite bodies hosted in the tectonic sequence of the upper units (adjacent to fault zones), or the existence of anhydrate, hosted in the clastic substratum of Tripolis zone. The anhydrate in the presence of water react to form gypsum via an exothermic reaction.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Peterek, A. and Schwarze, J. (2004): Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic subduction zone (south-central Crete, Greece), Journal of Geodynamics, Volume 38, Issue 1, p. 19-55.

SHEAR-WAVE SPLITTING PARAMETERS DETERMINATION IN THE W. GULF OF CORINTH DURING 2014*

Ch. Millas, I. Spiggos., G. Kaviris, V. Kapetanidis, A. Karakonstantis, P. Papadimitriou, N. Voulgaris and K. Makropoulos

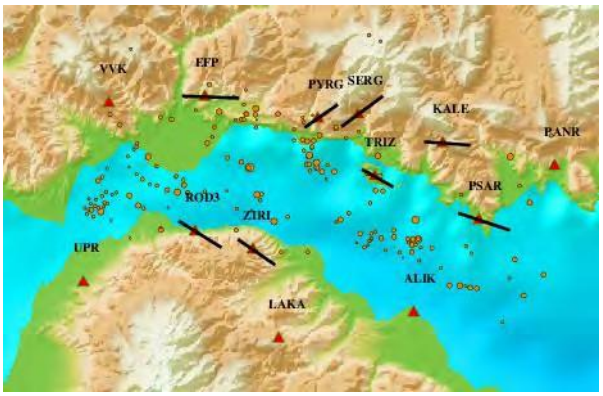
Section of Geophysics and Geothermy, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Ο Κορινθιακός Κόλπος είναι μια από τις πιο τεκτονικά ενεργές περιοχές στην Ευρώπη. Το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικότητας λαμβάνει χώρα στο δυτικό τμήμα του κόλπου, με το πιο πρόσφατο καταστροφικό γεγονός να είναι ο σεισμός του Αιγίου το 1995 (M=6.2), ενώ έκτοτε η κύρια έκφραση της δραστηριότητας γίνεται μέσω σεισμικών σμηνών. Το πυκνό σεισμολογικό δίκτυο στον Δυτικό Κορινθιακό Κόλπο αποτελείται από σεισμογράφους που ανήκουν στο Ενιαίο Εθνικό Δίκτυο Σεισμογράφων (Ε.Ε.Δ.Σ.) ή το Corinth Rift Laboratory Network (CRLN) και επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό υποκέντρων. Η μελέτη ανισοτροπίας στον ανώτερο φλοιό βρίσκει εφαρμογές στον ακριβέστερο προσδιορισμό μηχανισμών γένεσης, την πρόγνωση σεισμών καθώς και την έρευνα και εντοπισμό ταμιευτήρων πετρελαίου. Γεγονότα που συνέβησαν στην περιοχή μελέτης κατά το 2014 και πληρούν αυστηρά κριτήρια επιλογής, με στόχο την αποφυγή αλληλεπίδρασης των εγκαρσίων κυμάτων με την ελεύθερη επιφάνεια και την αποτροπή εσφαλμένης αναγνώρισης φάσεων που έχουν υποστεί μετατροπή, χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη ανισοτροπίας. Τα 176 γεγονότα που επελέγησαν για την παρούσα μελέτη βρίσκονται εντός του παραθύρου των εγκαρσίων κυμάτων (γωνία ανάδυσης μικρότερη των 45°) σε τουλάχιστον έναν σταθμό. Οι επιλεγμένες καταγραφές εμφανίζουν καθαρές και ωθητικές φάσεις στις οριζόντιες συνιστώσες, με υψηλό λόγο σήματος προς θόρυβο και με πλάτος εγκαρσίων κυμάτων στην κατακόρυφη συνιστώσα μικρότερο από εκείνο των δύο οριζόντιων (Καβύρης, 2003). Οι παράμετροι ανισοτροπίας που καθορίζονται είναι η διεύθυνση πόλωσης του ταχέος εγκάρσιου κύματος, η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των δύο εγκαρσίων κυμάτων που έχουν υποστεί σχάση (S_{fast} και S_{slow}) και η διεύθυνση πόλωσης της πηγής. Ο καθορισμός αυτός έγινε χρησιμοποιώντας το πολωσίγραμμα και το οδόγραμμα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε σταθμό ανέδειξαν την ύπαρξη ανισοτροπικού στρώματος στον ανώτερο φλοιό. Η πλειοψηφία των μέσων διευθύνσεων ανισοτροπίας, οι οποίες παρουσιάζονται στον χάρτη της Εικ. 1, είναι ΔΒΔ - ΑΝΑ, κάθετα προς τη γενική ΒΒΑ - ΝΝΔ διεύθυνση εφελκυσμού του Κορινθιακού κόλπου και σύμφωνα με τη μέγιστη οριζόντια συμπιεστική συνιστώσα τάσης. Επιπλέον, η διεύθυνση ανισοτροπίας για κάθε σταθμό βρέθηκε να είναι ανεξάρτητη από το αζιμούθιο. Συνεπώς, η ανισοτροπική συμπεριφορά στον Δυτικό Κορινθιακό Κόλπο ερμηνεύεται με την ύπαρξη μικρορωγμών πληρωμένων με ρευστό, σύμφωνα με τη θεωρία εκτεταμένης ανισοτροπίας εκ διαστολής (μοντέλο EDA; Crampin, 1978). Αλλαγές στις διευθύνσεις ανισοτροπίας μπορούν να αποδοθούν στο μοντέλο Ανισοτροπικής Ποροελαστικότητας (μοντέλο APE; Zatsepin και Crampin, 1997). Οι σταθμοί SERG (Σεργούλα) και PYRG (Πύργος), εγκατεστημένοι πλησίον μεταξύ τους στις βόρειες ακτές του Δυτικού Κορινθιακού Κόλπου, παρουσιάζουν ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση ανισοτροπίας, η οποία διαφέρει από τη γενική διεύθυνση του εντατικού πεδίου στην ευρύτερη περιοχή, γεγονός που απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση. Δύο πιθανές ερμηνείες είναι μέσω του μοντέλου APE, λόγω μετακίνησης ρευστού εντός των μικρορωγμών, ή/και λόγω ύπαρξης ενεργών ρηγμάτων πλησίον των σταθμών. Τέλος, βάσει των τιμών των χρονικών καθυστερήσεων μεταξύ των δύο εγκαρσίων κυμάτων που έχουν υποστεί σχάση, διακρίθηκαν δύο κύριες ομάδες σταθμών, χωρίς όμως χωρική συσχέτιση. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από τους σταθμούς EFP, PSAR, SERG και ROD3. Παρατηρείται ότι η

Μήλλας Χ., και συν.: Μελέτη καθορισμού αν ισοτροπικών παραμέτρων εγκάρσιων κυμάτων στον Δ. Κορινθιακό κόλπο κατά το 2014.

χρονική καθυστέρηση είναι σημαντική και μεγαλύτερη από τα 60 ms. Αντίθετα, η δεύτερη ομάδα σταθμών, αποτελούμενη από τους σταθμούς KALE, PYRG, TRIZ και ZIRI, εμφανίζει μικρότερη μέση χρονική καθυστέρηση (≤60 ms). Η παρούσα μελέτη ανισοτροπίας στον Δυτικό Κορινθιακό Κόλπο με χρήση δεδομένων από σεισμούς που συνέβησαν κατά το 2014 βρίσκεται ακόμη υπό εξέλιξη. Συγκεκριμένα, πρόκειται να αναζητηθούν επιπλέον δεδομένα με σκοπό την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων. Επιπλέον, θα μελετηθεί η χρονική μεταβολή των παραμέτρων σχάσης, δεδομένου ότι οι μεταβολές των κανονικοποιημένων χρονικών καθυστερήσεων δύνανται να παρέχουν πληροφορίες για τις τοπικές διεργασίες συγκέντρωσης και απελευθέρωσης τάσεων, που πιθανώς να σχετίζονται με την εκδήλωση σημαντικών σεισμικών γεγονότων.



Εικόνα 1. Μέσες διευθύνσεις ανισοτροπίας για κάθε σταθμό της παρούσας μελέτης. Το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος είναι ανάλογο της μέσης χρονικής καθυστέρησης στον σταθμό καταγραφής. Με κύκλους παρουσιάζονται τα επίκεντρα των 176 σεισμών που αναλύθηκαν. Η διάμετρος του κάθε κύκλου είναι αντιπροσωπευτική του μεγέθους του σεισμού.

Abstract

The western part of the Gulf of Corinth (WGoC) is one of the most seismically active regions in Greece. After the occurrence of the M=6.2 Aigion earthquake in 1995, seismic energy is mostly expressed by seismic swarms. Dense permanent seismological networks have been installed in the WGoC, comprising of seismographs belonging to the Hellenic Unified Seismological Network (HUSN) and the Corinth Rift Laboratory Network (CRLN), allowing the precise hypocentral location. Events that occurred during 2014 and fulfill strict selection criteria are used to perform this anisotropy study. The polarigram and the hodogram methods were applied to determine the splitting parameters, i.e. the polarization direction of the fast shear-wave, the time-delay between the two-split shear-waves and the source polarization direction. The results of the present study revealed the existence of an anisotropic layer in the upper crust. Most mean anisotropy directions (Figure 1) strike WNW-ESE, approximately perpendicular to the NNE-SSW direction of extension of the Gulf of Corinth and in accordance with the maximum horizontal compressive stress component. Moreover, the polarization direction for each station seems to be independent of the event's azimuth. Consequently, anisotropy in the WGoC is due to the existence of fluid-filled microcracks, in agreement with the Extensive Dilatancy Anisotropy (EDA) model (Crampin, 1978). Variations in polarization directions can be attributed to the Anisotropic Poro-Elasticity (APE) model (Zatsepin and Crampin, 1997). SERG and PYRG stations, located in close proximity, on the northern coast of the WGoC, present a NE-SW mean anisotropy direction, which differs from the general direction of the stress field in the region, fact that requires further investigation. Two possible explanations are due to the existence of active faults in the vicinity of the stations and / or per the APE model, due to fluid movement through microcracks.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Crampin, S., 1978. Seismic-wave propagation through a cracked solid: polarization as a possible dilatancy diagnostic. Geophys. J. R. Astron. Soc., 53, 467-496.

Zatsepin, S. and Crampin, S., 1997. Modelling the compliance of crustal rock I. Response of shear-wave splitting to differential stress. Geophys. J. Int., 129,477–494.

Καβύρης, Γ., 2003. Μελέτη Ιδιοτήτων Σεισμικών Πηγών Ανατολικού Κορινθιακού Κόλπου, Διδ. Διατριβή, Ε.Κ.Π.Α.

ARCHAEOSEISMIC EVIDENCE OF TWO HELLENISTIC EARTHQUAKES AT THE GIANNIA SETTLEMENT (COASTAL LOCALITY OF THE GULF OF CORINTH) AND ITS RELATION WITH THE HELIKE FAULT*

A. Moschou[1], E. Kolia[2] and I. Koukouvelas[3]

[1] Ministry of Culture, archaeologist

[2] Ministry of Culture, Director of the Ephorate of Antiquities of Helia, 270 65 Ancient Olympia, Greece;

[3] Division of Physical Marine Geology and Geodynamics, Department of Geology, University of Patras, 26500 Rion Patras, Greece

Περίληψη

Η Αρχαιοσεισμολογία, ως μοντέρνος κλάδος της γεωλογίας των σεισμών βοηθά στην κατανόηση των επιπτώσεων σεισμών του παρελθόντος. Η συμβολή της είναι σημαντική επειδή η μελέτη των παρελθόντων σεισμών βοηθά την κατανόηση των επερχόμενων σεισμών. Ανάλογες μελέτες βοηθούν την κατανόηση της σεισμικότητας τόσο ευρύτερων περιοχών, όπως είναι ο Κορινθιακός κόλπος όσο και ενεργών ρηγμάτων όπως π.χ. του ρήγματος της Ελίκης. Στην εργασία αυτή αναλύονται με βάση αρχαιοσεισμολογικές παρατηρήσεις οι επιπτώσεις δύο σεισμών στη θέση Γιαννιά στα ανατολικά του Διακοπτού. Αρχαιολογικές παρατηρήσεις μαρτυρούν τη συσχέτιση της θέσης Γιαννιά με την αρχαία Βούρα, ενώ οι γεωλογικές παρατηρήσεις εντάσσουν τη θέση στη ρηξιγενή ζώνη του ρήγματος της Ελίκης. Στη θέση Γιαννιά αναγνωρίσθηκαν δύο ορίζοντες καταστροφής εκ των οποίων ο τελευταίος σηματοδοτεί και την οριστική εγκατάλειψη της θέσης. Η μελέτη των οριζόντων καταστροφής κατέδειξε τα χαρακτηριστικά τους στοιχεία. Οι καταρρεύσεις των τοίχων και της στέγης των κτηρίων, τα παραμορφωμένα ή και διαρρηγμένα δομικά στοιχεία και συνοδές κατασκευές των κτηρίων, οι επισκευές σε κτήρια, τα καταπλακωμένα πολύτιμα αντικείμενα εντός τους, τα ίχνη φωτιάς, και οι αλλαγές του ρυμοτομικού σχεδίου του οικισμού τεκμηριώνουν συνδυαστικά δύο σεισμούς σε μικρή χρονική απόσταση μεταξύ τους. Οι ακριβείς ημερομηνίες των δύο σεισμών συνάγονται από τη χρονολόγηση των στρωμάτων καταστροφής στο 300-270 π.Χ. ο πρώτος και στο 250/238 π.Χ. ο δεύτερος. Η αρχαιοσεισμολογική μελέτη στη θέση Γιαννιά συσχετίζει δύο σεισμούς στον Κορινθιακό κόλπο και στο ρήγμα Ελίκης κατά τους Ελληνιστικούς χρόνους.

Abstract

Archaeoseismology as a modern research field studies "ancient earthquakes, and their social, cultural, historical and natural effects". As past damaging earthquakes recur at intervals from many decades to tens of thousands of years one way to confront the threat posed by future earthquakes is to look into the past and extrapolate the seismic behaviour of major faults into the future. Thus, the archeological evidence has to be included along with paleoseismological studies. These records will address the fundamental questions of their regularities of the time-space patterns of large earthquakes and the long-term seismicity of large seismogenic provinces like the Gulf of Corinth and crustal scale structures like the Helike Fault as well.

Μόσχου Α., και συν.: Αρχαιοσεισμολογικές ενδείξεις δύο σεισμών της Ελληνιστικής περιόδου στον οικισμό Γιαννιά (παράκτια θέση στον Κορινθιακό κόλπο) και η σχέση τους με το ρήγμα Ελίκης.

In this work, we present the results of a rescue excavation due to the railway line construction at the Giannia locality which lies on the coastal zone between the settlements of Trapeza and Diakopto in north Peloponnese. This excavation, operated by the ΣΤ΄ Ephorate of Prehistoric and Classical Antiquities, brought to light architectural remnants from an unknown ancient settlement abandoned during the second half of the 3rd century BC, probably connected with the ancient town Voura seaport. In terms of its tectonic position the Giannia settlement is located in the fault zone of the eastern segment of the Helike Fault. To further explore the settlement abandonment, we provide data of two extensive destruction layers including collapsed roofs and walls of buildings, faulted and systematically deformed structures inside and around the buildings, repaired buildings, the findings of the rooms along with their entire content under the ruins, traces of possible fire and changes on the town planning. All mentioned features provide strong notion of two probable earthquakes within a short time interval. The first earthquake is dated c. 300-270 B.C. and the second earthquake a short after c. 250/238 B.C. The evidences emerged from the Giannia settlement shed light to the Hellenistic Times seismicity of central part of the Gulf of Corinth and the Helike Fault as well.

CLUSTERS OF MEGAEARTHQUAKES ON UPPER-PLATE FAULTS PRODUCE TRANSIENT UPLIFT ALONG THE HELLENIC SUBDUCTION MARGIN: HOW GLOBAL IS THIS PHENOMENON?*

V. Mouslopoulou[1], O. Oncken[1], A. Nicol[2], S. Hainzl[1], M. Moreno[1] and J. Begg[3]

[1] German Research Centre for Geosciences, GFZ Helmholtz Centre Potsdam, Germany
[2] Department of Geological Sciences, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch, New Zealand
[3] GNS Science, PO Box 30-368, Lower Hutt, New Zealand

Περίληψη

Η ελληνική ζώνη υποβύθισης έχει παράξει μέσα στους ιστορικούς χρόνους, μεγάλους καταστροφικούς σεισμούς με συνοδά κύματα τσουνάμι. Ωστόσο, ο ρυθμός επανάληψης αυτών των σεισμών παραμένει ελάχιστα προσδιορισμένος. Σε αυτή την εργασία μελετήσαμε την σεισμική ιστορία της ελληνικής ζώνης υποβύθισης σε βάθος περίπου 50 χιλιάδων ετών, χρονικό παράθυρο 10 φορές μεγαλύτερο από την διάρκεια των γραπτών ιστορικών καταγραφών στην περιοχή, περίοδο στην οποία περιορίζονταν μέχρι τώρα όλες οι προηγούμενες παλαιοσεισμολογικές μελέτες. Συγκεκριμένα, χαρτογραφήσαμε απολιθωμένες ακτογραμμές κατά μήκος της Κρήτης που σήμερα βρίσκονται ανυψωμένες έως και 23 μέτρα πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Κάθε μία από αυτές τις ακτογραμμές πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύει την παλαιά στάθμη της θάλασσας κατά την χρονική στιγμή του σχηματισμού της ακτογραμμής, ενώ το υψόμετρό της καταγράφει την συνολική κατακόρυφη μετατόπιση που έχει υποστεί η ακτογραμμή (σε σχέση μετην στάθμη της θάλασσας) λόγω των διαδοχικών σεισμικών κινήσεων. Ραδιοχρονολογώντας πεθαμένους θαλάσσιους μικροοργανισμούς που επικαλύπτουν την κάθε ακτογραμμή με την μορφή ακτόλιθου, βρήκαμε ότι τα τελευταία 50 χιλιάδες χρόνια ολόκληρη η Κρήτη, δυτική και ανατολική, έχει ομοιόμορφα ανυψωθεί περίπου 100 μέτρα λόγω της δράσης 40 τουλάχιστον μεγα-σεισμών, με μέγεθος πιθανά M>7.5. Επίσης, βρίσκουμε ότι αυτοί οι σεισμοί δεν ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένοι στον χρόνο, αντίθετα, οι περισσότεροι έλαβαν χώρα κατά την περίοδο μεταξύ 10-20 χιλιάδων χρόνων πριν από σήμερα. Αριθμητικές προσομοιώσεις 'προσδεδεμένες' πάνω στα νέα αυτά εμπειρικά δεδομένα, δείχνουν ότι οι μεγα-σεισμοί γεννήθηκαν κατά μήκος του δυτικού και ανατολικού τμήματος της ελληνικής ζώνης υποβύθισης από μεγάλα ανάστροφα ρήγματα που βρίσκονται μέσα στην άνω πλάκα –και όχι στην διεπαφή των δύο πλακών. Τα ευρήματα αυτά φέρνουν στο φως τρία καινούργια στοιχεία: α) Στην ελληνική ζώνη υποβύθισης, η σύγκλιση των πλακών απορροφάται όχι μόνο από ολίσθηση στην διεπαφή των δύο τεκτονικών πλακών αλλά και από σεισμική ολίσθηση μεγάλων ανάστροφων ρηγμάτων που βρίσκονται μέσα στην άνω πλάκα. β) Στο ανατολικό τμήμα της ελληνικής ζώνης υποβύθισης οι πλάκες δεν γλιστρούν ασεισμικά, όπως πιστεύονταν μέχρι σήμερα αλλά, αντίθετα, είναι ικανές να 'κλειδώνουν' και να συσσωρεύουν τάσεις οι οποίες απελευθερώνονται αργότερα με τη μορφή μεγάλων σεισμών γι' αυτό και η ανωολοκαινική απουσία σεισμικής ανύψωσης στην ανατολική Κρήτη ερμηνεύεται εδώ ως αποτέλεσμα σεισμικής ηρεμίας. Επομένως, ο αριθμός των σεισμικών πηγών στην Ανατολική Μεσόγειο ικανών για τη γένεση μεγα-σεισμών αποδεικνύεται σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με αυτόν που μέχρι σήμερα γνωρίζαμε. γ) Οι σεισμικές πηγές νότια της Κρήτης φαίνεται να δρουν σπασμωδικά (μη-περιοδικά), μέσω μεγάλων σεισμικών εξάρσεων, με ρυθμούς επανάληψης που κυμαίνονταν από εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια. Η υψηλή χρονική μεταβλητότητα στη γένεση των μεγα-σεισμών στην Ανατολική Μεσόγειο κάνει πολύ δύσκολο τον υπολογισμό του ρυθμού επανάληψής τους. Όμως, τα μέτρα προφύλαξης, όπως το

Μουσλοπούλου., και συν.: Σμήνη μεγα-σεισμών σε ρήγματα της άνω-πλάκας προκαλούν εφήμερες ανυψώσεις κατά μήκος της ελληνικής ζώνης υποβύθισης: πόσο γενικευμένο είναι αυτό το φαινόμενο παγκοσμίως;

σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για τσουνάμι και οι αντισεισμικές κατασκευές, θα πρέπει να βασιστούν σε αυτή την αυξημένη σεισμική επικινδυνότητα. Για να μελετήσουμε περαιτέρω πόσο διαδεδομένες είναι τέτοιες απότομες τεκτονικές ανυψώσεις στα ηπειρωτικά τμήματα ζωνών υποβύθισης, και τί τις προκαλεί, συγκρίναμε τα δεδομένα της ελληνικής ζώνης υποβύθισης με δεδομένα από έξι άλλες ζώνες υποβύθισης ανά τον κόσμο. Βλέπουμε ότι σε κάθε μία από τις ζώνες που μελετήθηκαν, οι ρυθμοί ανύψωσης στην προχώρα μεταβάλλονται σημαντικά κατά την διάρκεια των τελευταίων 125 χιλιάδων ετών, με τις αποκλίσεις να φτάνουν μέχρι και 20 φορές. Μια άλλη γενική παρατήρηση είναι ότι στις περισσότερες ζώνες υποβύθισης, οι πρόσφατοι (ολοκαινικοί) ρυθμοί ανύψωσης είναι πολύ μεγαλύτεροι σε σχέση με τους ανωπλειστοκαινικούς, φαινόμενο που το αποδίδουμε σε μεροληπτική δειγματοληψία προς αυτές τις παλαιοακτές που έχουν διατηρηθεί καλύτερα (και χαρτογραφούνται ευκολότερα) σε σχέση με άλλες που είναι δυσδιάκριτες ή που βρίσκονται σήμερα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αριθμητικές προσομοιώσεις αποδεικνύουν ότι αυτές οι ισχυρές αυξομειώσεις των ρυθμών ανύψωσης είναι ένα βραχυχρόνιο (<20,000 χρόνια) φαινόμενο, που δεν μπορεί να εξηγηθεί διαφορετικά παρά από την σπασμωδική δράση σεισμικών ρηγμάτων που βρίσκονται κυρίως στην άνω πλάκα και, σε μικρότερο βαθμό, στην διεπαφή των δύο πλακών. Αυτό σημαίνει ότι σε ενεργές ζώνες υποβύθισης με μη-μετρήσιμες ανυψώσεις, η πιθανότητα καταστροφικών σεισμών (και συνοδών τσουνάμι), ίσως να έχει υποτιμηθεί - και αν αυτό πράγματι συμβαίνει, τότε οι ανωπλειστοκαινικές παλαιοακτές τους θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορισθεί καλύτερα η σεισμική επικινδυνότητά τους.

Abstract

The Hellenic subduction margin in the Eastern Mediterranean has generated devastating historical earthquakes and tsunamis with poorly known recurrence intervals. Here we show that the earthquake-related uplift pattern on Crete has been more variable and complex than previously thought. Using radiocarbon dates and field observations of paleoshorelines we identify strong uplift transients along the entire island with time-averaged rates varying between 0 and 7 mm/yr. High uplift-rates since the demise of the Minoan civilisation were confined to western Crete, where up to 10m of coastal uplift resulted from at least one great earthquake. Similar earthquakes produced rapid uplift between ~10 and 20 kyr B.P. in eastern and western Crete, with the absence of uplifted Late Holocene paleoshorelines in the east being due to seismic quiescence rather than aseismic uplift, as previously suggested. Numerical modelling conditioned by our new uplift-data indicates that great-earthquakes occurred on major reverse faults in the upper-plate, with the plate-interface contributing little to the uplift. In contrast to many convergent margins great earthquakes along the Hellenic margin were strongly clustered in time with recurrence intervals ranging from hundreds to thousands of years, reflecting temporal variations in slip partitioning between the subduction-interface and upper-plate faults. To test the global applicability and explore further the origins of these uplift transients, we compared the Hellenic margin dataset with a global dataset of empirical paleoshoreline measurements from another six subduction margins. Data analysis indicates that uplift rates are generally not steady state and varied by up to a factor of 20 during the Late Quaternary (≤125 ka). On many subduction margins uplift rates increase to the present day, a finding which we attribute to sampling bias towards those locations where Holocene uplift rates have been highest. 2D numerical models suggest that transient uplift rates at subduction margins are mainly a short-term (<20 ka) phenomenon ascribed to temporal clustering of large-magnitude earthquakes on upper-plate faults and, to a lesser extent, the subduction thrust. Thus, the potential for future damaging earthquakes and tsunamis may have been under-estimated at active subduction margins with no measureable Holocene uplift and, in such cases, Late Quaternary paleoshorelines could provide an important constraint for hazard analysis.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Mouslopoulou, V., A. Nicol, J. Begg, O. Oncken, and M. Moreno (2015), Clusters of megaearthquakes on upper plate faults control the Eastern Mediterranean hazard, Geophys. Res. Lett., 42, 10,282–10,289, doi:10.1002/2015GL066371.

Mouslopoulou, V., O. Oncken, S. Hainzl, and A. Nicol (2016), Uplift rate transients at subduction margins due to earthquake clustering, Tectonics, 35, doi:10.1002/2016TC004248.

Sadler, P. M. (1981), Sediment accumulation rates and the completeness of stratigraphic sections, J. Geol., 569-584.

SEAFLOOR MORPHOLOGY FORMED BY TECTONISM, VOLCANISM, AND MASS WASTING IN THE CHRISTIANNA-SANTORINI-AMORGOS REGION OF THE HELLENIC VOLCANIC ARC*

P. Nomikou[1], E. Hooft[2], D. Toomey[2], D. Lampridou[1], C. Getz[2], M.E. Christopoulou[1], Dan O'Hara[2], G. Arnoux[2], M. Bodmer[2], M. Gray[3], B. Heath[1] and B. VanderBeek[1]

[1] Department of Earth Sciences, University of Oregon, Eugene, OR 97403 USA

[2] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

[3] Department of Earth Science and Engineering, Imperial College London, SW7 2AZ, United Kingdom

Περίληψη

Το γεωδυναμικό καθεστώς της περιοχής 'Χριστιαννά-Σαντορίνη-Αμοργός' χαρακτηρίζεται από ηφαιστειότητα και εφελκυστικού χαρακτήρα παραμόρφωση πίσω από τον Ελληνικό χώρο υποβύθισης. Το διαμορφωμένο υποθαλάσσιο ανάγλυφο Επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από κατολισθήσεις και διαβρωσιγενείς παράγοντες. Στα πλαίσια του σεισμικού πειράματος PROTEUS (Plumbing Reservoirs Of The Earth Under Santorini), χρηματοδοτούμενο από το NSF (National Science Foundation) δημιουργήθηκαν νέοι βαθυμετρικοί χάρτες της περιοχής, συνδυάζοντας υψηλής ανάλυσης βαθυμετρικά δεδομένα από το R/V Langseth σε συνδυασμό με τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα. Οι χάρτες αυτοί σε συνδυασμό με τα ακουστικά προφίλ υψηλής συχνότητας (Knudsen subbottom echosounder) αποκάλυψαν ότι η ενεργή τεκτονική, η ηφαιστειότητα και οι κατολισθήσεις επικρατούν κυρίως στην περιοχή Αμοργού-Σαντορίνης στα ανατολικά του νησιού της Σαντορίνης σε σχέση με τη λεκάνη των Χριστιανών που βρίσκεται δυτικά. Ανατολικά της Σαντορίνης, κανονικά περιθωριακά ρήγματα οριοθετούν τις λεκάνες της Ανύδρου, της Αμοργού και της Ανάφης δημιουργώντας επίσης το τεκτονικό κέρας της Ανύδρου, σε μια περιοχή με έντονη σεισμικότητα. Τα μεγάλα περιθωριακά ρήγματα της λεκάνης της Αμοργού συνδέονται με πιθανές κατολισθήσεις και κατ' επέκταση με παλιρροϊκά κύματα; εντοπίσαμε μια μεγάλη κατολίσθηση κατά μήκος του ρήγματος Σαντορίνης-Αμοργού και μία μικρότερη με την παρουσία κορημάτων κατά μήκος του ρήγματος της Αμοργού. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στα ανατολικά της Σαντορίνης εντοπίζεται κατά μήκος της αλυσίδας του Κολούμπο μέσα στη λεκάνη της Ανύδρου. Στη λεκάνη των Χριστιαννών ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το υποθαλάσσιο όρος Proteus ύψους 300 μέτρων και ένας παρακείμενος ηφαιστειακός δόμος καλυμμένος με ιζήματα. Πιθανών να πρόκειται περί παλαιότερων ηφαιστειακών δομών που σχηματίστηκαν κατά μήκος του ελληνικού ηφαιστειακού τόξου μεταξύ Σαντορίνης και Μήλου. Γύρω από το νησί της Σαντορίνης, εμφανίσεις που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια αλλά και αμέσως μετά την Υστερο-Κυκλαδική (Μινωϊκή) έκρηξη, διαμορφώνουν τον υποθαλάσσιο πυθμένα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το ΝΔ κανάλι ανάμεσα στην Οία και τη Θηρασσία αλλά και οι κλιμακωτές αποθέσεις πυροκλαστικής ροής δυτικά από τη Σαντορίνη. Η μορφολογία του υποθαλάσσιου πυθμένα καθορίζεται επίσης από πολλαπλές ηφαιστειακές κατολισθήσεις. Συμπεραίνουμε ότι η πιθανότητα σεισμού, ηφαιστειακής έκρηξης και παλιρροϊκών κυμάτων στην περιοχή Σαντορίνης-Αμοργού είναι σημαντική.

Abstract

The dynamic Santorini-Christianna-Amorgos backarc region of the Hellenic subduction zone is the site of both arc volcanism and backarc extensional deformation.

Νομικού Π., και συν.: Το υποθαλάσσιο ανάγλυφο της περιοχής 'Χριστιαννά-Σαντορίνη-Αμοργός' διαμορφώνεται από την τεκτονική, την ηφαιστειότητα και τις κατολισθήσεις.

The resulting seafloor topography is subject to mass wasting and other erosive forces. We generated a new swath bathymetric map of the region by merging high-resolution multibeam from the R/V Langseth PROTEUS (Plumbing Reservoirs Of The Earth Under Santorini) seismic experiment with existing maps. The swath map together with Knudsen subbot-tom echosounding profiles reveal that recent tectonism, volcanism, and mass wasting are more prevalentin the Santorini-Amorgos region to the east than in the Christianna basin on the west side of Santorini. Inthe Santorini-Amorgos region large normal faults form the Anydros and Anafi seafloor basins. The ongoingnormal faulting in the Santorini-Amorgos region is accompanied by potentially tsunamigenic landsliding; we identified a large landslide along the Santorini-Amorgos fault and a smaller landslide with an overlyingdebris chute along the Amorgos fault. Volcanic activity is also focused in this eastern region along the Kolumbo lineament within the Anydros basin. Within the Christianna basin we made the surprising dis- covery of the 300-m high Proteus seamount and adjacent buried edifice. Around Santorini itself, featuresformed during, and immediately after, the LBA eruption dominate the seafloor morphology such as the NWern strait and the wrinkled seafloor pyroclastic flow deposits. Yet this topography is continually re- shaped at a smaller scale by ongoing mass wasting. We infer that the earthquake, volcanic, and tsunamipotential of the Santorini-Amorgos region is substantial.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Bell K. L. C., Carey S., Nomikou P., Sigurdsson H., Sakellariou D. (2013): Submarine evidence of a debris avalanche deposit on the eastern slope of Santorini Volcano, Greece Tectonophysics, 597-8, 147-160.

Hubscher C., Ruhnau M., Nomikou P. (2015): Volcano-tectonic evolution of the polygenetic Kolumbo submarine volcano/Santorini (Aegean Sea). Journal of Volcanology and Geothermal Research 291, 101–111.

Johnston, E. N., R. S. J. Sparks, P. Nomikou, I. Livanos, S. Carey, J. C. Phillips, and H. Sigurdsson (2015), Stratigraphic relations of Santorini's intracaldera fill and implications for the rate of post-caldera volcanism, Journal of the Geological Society, 172(3), 323–335, doi:10.1144/jgs2013-114.

Nomikou P., Carey S., Papanikolaou D., Croff Bell K., Sakellariou D., Alexandri M., Bejelou K. 2012: Submarine Volcanoes of the Kolumbo volcanic zone NE of Santorini Caldera, Greece. Global and Planetary Change 90-91 (2012) 135-151.

Nomikou P., Papanikolaou D., Alexandri M., Sakellariou D., Rousakis G. (2013): Submarine volcanoes along the Aegean Volcanic Arc. Tectonophysics 507-508, 123-146.

Nomikou, P., Parks M., Papanikolaou D., Pyle D., Mather T., Carey S., Watts A., Paulatto M., Kalnins M., Livanos I., Bejelou K., Simou E., Perros I. (2014): The emergence and growth of a submarine volcano: The Kameni islands, Santorini (Greece). GeoResJ., Vol.1, 8-18.

Nomikou, P., C. Hübscher, M. Ruhnau, and K. Bejelou 2016a. Tectono-stratigraphic evolution through successive extensional events of the Anydros Basin, hosting Kolumbo volcanic field at the Aegean Sea, Greece, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2016.01.021.

Nomikou P., T.H. Druitt, C. Hu¨bscher, T.A. Mather, M. Paulatto, L.M. Kalnins, K. Kelfoun, D. Papanikolaou, K. Bejelou, D. Lampridou, D.M. Pyle, S. Carey, A.B. Watts, B. Weib & M.M. Parks 2016b. Post-eruptive flooding of Santorini caldera and implications for tsunami generation. Nature Communications, 7:13332, doi: 10.1038/ncomms13332.

UPPER QUATERNARY UPLIFT RATES AT THE CENTRAL PART OF THE GULF OF CORINTH, GREECE*

G. Panoutsopoulos[1], H. Kranis[1], E. Skourtsos[1], R. Gawthorpe[2], and J. Andrews[3]

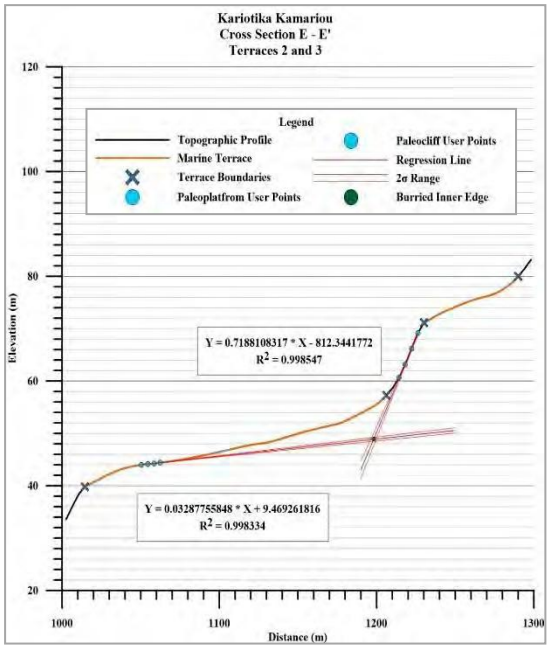
[1]Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

[2] University of Bergen, Institute for Geosciences, Bergen, Norway

[3] School of Environmental Science, University of East Anglia, UK

Περίληψη

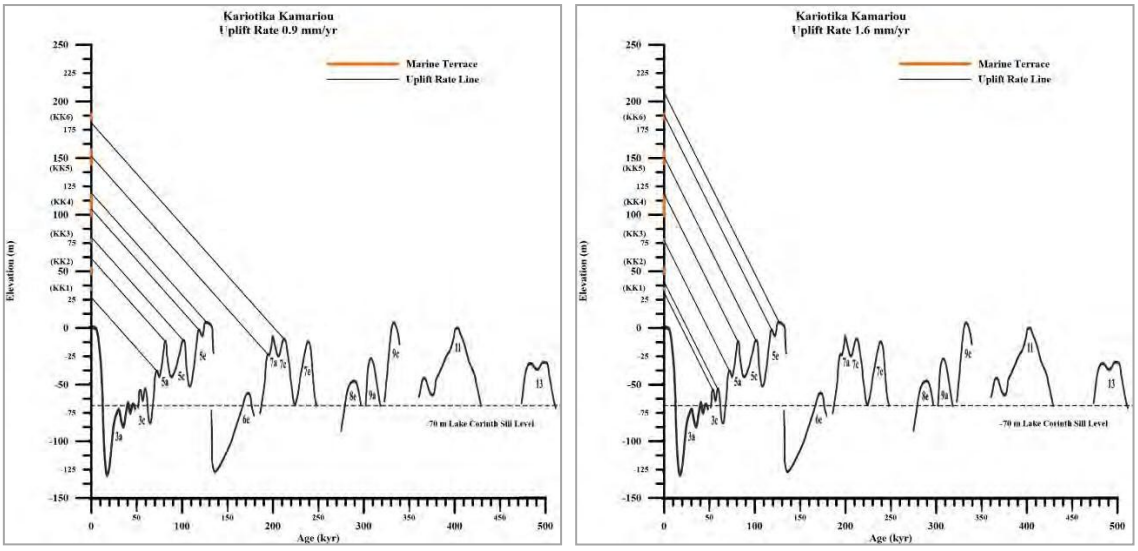
Γίνεται προσπάθεια εκτίμησης του ανωπλειστοκαινικού – ολοκαινικού ρυθμού ανύψωσης της περιοχής στο κεντρικό τμήμα των νότιων ακτών του Κορινθιακού κόλπου, με βάση λεπτομερή μορφολογική ανάλυση. Η συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάζει δυσκολίες ως προς τη μελέτη των θαλάσσιων αναβαθμίδων, διότι οι εμφανίσεις τους είναι μικρότερης έκτασης από ότι ανατολικότερα, ενώ είναι ιδιαίτερα δυσχερής ο εντοπισμός ακολουθίας αποτελούμενης από αριθμό αναβαθμίδων ικανό να επιτρέπει τη συσχέτιση τους με γειτονικές περιοχές. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες αυτές, κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου υψηλής χωρικής ανάλυσης (4 m), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για χαρτογράφηση τους και την κατασκευή τοπογραφικών προφίλ, όπου εντοπίστηκε ακολουθία. Από αυτά υπολογίστηκαν τα υψόμετρα των παλαιοακτών κάθε αναβαθμίδας. Επειδή λόγω διάβρωσης το σημείο της γωνίας της παλαιοακτής (shoreline angle) είναι θαμμένο, ο υπολογισμός του έγινε με γεωμετρικό τρόπο από τα τοπογραφικά προφίλ, όπου έγινε η προσπάθεια μίας πρώτης εφαρμογής μίας μεθόδου στην οποία ο χρήστης επιλέγει σημεία πάνω στο ανάγλυφο της παλαιοπλατφόρμας και του παλαιοκρημνού, ώστε να σχεδιάσει τις ευθείες των κλίσεων τους και τα όρια του λάθους τους με βάση την τυπική απόκλιση 2σ με διάστημα 95% και να υπολογιστεί έτσι από το σημείο τομής τους, το υψόμετρο του θαμμένου σημείου της γωνίας της παλαιοακτής (Muhs *et al.*, 2012, 2014, Matsu'ura *et al.*, 2014, 2015, Jara-Muñoz *et al.*, 2015) (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Τοπογραφικό προφίλ των αναβαθμίδων ΚΚ2 (2) και ΚΚ3 (3), με βάση το οποίο υπολογίστηκε το εσωτερικό άκρο της ΚΚ2. Διακρίνονται επίσης, οι εξισώσεις των ευθειών γραμμικής παλινδρόμησης και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2.

* Πανουτσόπουλος, Γ. και συν.: Υπολογισμός ανωτεταρτογενούς ρυθμού ανύψωσης στο κεντρικό τμήμα του Κορινθιακού κόλπου

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα αντιστοίχισης ων υψομέτρων των αναβαθμίδων με την ευστατική καμπύλη. Επιλέχθηκε αυτή των McNeill and Collier (2004) για καλύτερη συσχέτιση με τις παρακείμενες περιοχές. Επειδή οι τοπογραφικές τομές που κατασκευάστηκαν για κάθε ακολουθία ήταν πολύ κοντά η μία στην άλλη, προτιμήθηκε να απεικονιστεί το εύρος του υψομέτρου, στο οποίο βρίσκεται η κάθε αναβαθμίδα (από την ελάχιστη τιμή του μικρότερου παρατηρούμενου υψομέτρου έως την μέγιστη τιμή του μεγαλύτερου παρατηρούμενου υψομέτρου της) και όχι απλώς ένα σημείο του (Εικ. 2).



Εικόνα 2: Τα υψόμετρα των αναβαθμίδων σε σχέση με την ευστατική καμπύλη, για ρυθμό ανύψωσης 0,9 mm/yr (αριστερά) και για 1.6 mm/yr (δεξιά) στην περιοχή Καρυώτικα Καμαρίου.

Terrace elevations correlated with sea-level curve for the Ano Loutro marine terrace sequence, for a calculated uplift rat of 0.9 mm/yr (left) and 1.6 mm/yr (right). Marine terrace elevation is shown with their eleveation ranges, which were estimated from successive cross sections across the terrace flight

Με βάση τα αποτελέσματα προτείνονται δύο σενάρια ανάλογα με το μέσο ρυθμό ανύψωσης:

(i) για 0.9 mm/yr: στην περίπτωση αυτή, τα υψόμετρα των νεότερων αναβαθμίδων στα Καρυώτικα Καμαρίου βρίσκονται αρκετά χαμηλότερα από τις αντίστοιχες που έχουν περιγραφεί νότια του Ξυλοκάστρου (ειδικά αυτές που θεωρούνται ότι είναι νεότερες από το MIS 7c). Δεδομένου ότι οι μεν βρίσκονται στο υπερκείμενο τέμαχος του Ρήγματος Ξυλοκάστρου και οι δε στο υποκείμενο, το σενάριο αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το Ρήγμα Ξυλοκάστρου εξακολουθούσε να είναι ενεργό, έως και πριν περίπου 50.000 χρόνια. Μάλιστα η παρατηρούμενη διαφορά υψομέτρου σε αντίστοιχες αναβαθμίδες εκατέρωθεν του ίχνους του ΡΞ μειώνεται όσο πηγαίνουμε σε νεότερες αναβαθμίδες, κάτι που υπονοεί τη βαθμιαία εξασθένηση της δράσης του ΡΞ. Το σενάριο αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις έως τώρα έρευνες και, με βάση τα έως τώρα δεδομένα, θεωρείται το λιγότερο πιθανό.

(ii) με ρυθμό ανύψωσης 1.6 mm/yr, οι αναβαθμίδες εκατέρωθεν του ΡΞ εμφανίζονται σε αντίστοιχα υψόμετρα, κάτι που σημαίνει ότι το ΡΞ είχε απενεργοποιηθεί πριν τη δημιουργία τους. Ωστόσο, η ταύτιση υψομέτρων αναβαθμίδων με τα θαλάσσια ευστατικά μέγιστα είναι ελαφρά ασαφέστερη, με την καλύτερα διατηρημένη και εκτεταμένη αναβαθμίδα να αντιστοιχεί στο MIS 5c και όχι στο 5e, όπως θα αναμενόταν.

Abstract

We map the marine terraces of the Xylokastro – Derveni are and estimate the elevations of their buried inner edges, where possible, in order to study their relationship to the ones the eastern Gulf of Corinth. Our estimates were based on the geometrical analysis of topographic profiles along selected cross sections on preserved terrace flights. We used various uplift rate scenarios to tie the terrace elevation to the successive marine highstands of the Upper Pleistocene. Our tentative results include two end-member uplift rate scenarios: one of them implies that the West Xylokastro Fault remained active well after MIS 5e; this remains to be substantiated, though, so we tentatively favour the 1.6 mm/yr uplift rate scenario, which despite some elevation mismatches, which could be put down to poor terrace preservation and/or exposure, is more compatible with the WXF being inactive for at least the last 600 ka.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Armijo, R., Meyer, B., King, G., Rigo, A., and Papanastassiou, D., 1996, Quaternary evolution of the Corinth rift and its implications for the late Cenozoic evolution of the Aegean: Geophysical Journal International, v. 126, no. 1, p. 11–53.

Jara-Muñoz J., Melnick D., and Strecker M.R., 2015. TerraceM: A MATLAB® tool to analyze marine and lacustrine terraces using high-resolution topography. Geosphere v. 12, no. 1, published online 23 December 2015.

Matsu'ura, T., 2015, Late Quaternary uplift rate inferred from marine terraces,Muroto Peninsula, southwest Japan: Forearc deformation in an oblique subduction zone: Geomorphology, v. 234, p. 133–150.

Matsu'ura, T., Kimura, H., Komatsubara, J., Goto, N., Yanagida, M., Ichikawa, K., and Furusawa, A., 2014, Late Quaternary uplift rate inferred from marine terraces, Shimokita Peninsula, northeastern Japan: A preliminary investigation of the buried shoreline angle: Geomorphology, v. 209, p. 1–17.

McNeill, L.C., Collier, R.E.L., 2004. Uplift and slip rates of the eastern Eliki fault segment, Gulf of Corinth, Greece, inferred from Holocene and Pleistocene terraces. J. Geol. Soc. Lond. 161, 81–92.

Muhs, D.R., Simmons, K.R., Schumann, R.R., Groves, L.T., DeVogel S.B., Minor S.A., Laurel DA., 2014. Coastal tectonics on the eastern margin of the Pacific Rim: late Quaternary sea-level history and uplift rates, Channel Islands National Park, California, USA. Quaternary Science Reviews 105, 209–238.

Muhs, D.R., Simmons, K.R., Schumann, R.R., Groves, L.T., Mitrovica, J.X., Laurel, D., 2012. Sea-level history during the Last Interglacial complex on San Nicolas Island, California: implications for glacial isostatic adjustment processes, paleozoogeography and tectonics. Quat. Sci. Rev. 37, 1–25.

DIVERSIFIED PERMO-TRIASSIC ENVIRONMENTS BELOW THE EXTERNAL CARBONATE PLATFORM OF THE HELLENIDES*

D. Papanikolaou

Section of Dynamic Tectonic Applied Geology, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Η Εξωτερική Ανθρακική Πλατφόρμα των Ελληνίδων (H1) είναι το τελευταίο τεκτονο-στρωματογραφικό πεδίο που εισήλθε στο Ελληνικό Ορογενετικό Τόξο κατά το Ανώτερο Ηώκαινο. Η εμπλοκή της στη ζώνη πτυχώσεων/εφιππεύσεων των Ελληνίδων διήρκεσε έως το Ανώτερο Μειόκαινο, όταν οι πλέον εξωτερικές της περιοχές Παξοί – Καστελλόριζο τεκτονίστηκαν και άρχισε η παρούσα υποβύθιση της Ιόνιας Λεκάνης. Η ιστορία της υποβύθισής της δεν είναι συνεχής αλλά διακρίνονται δύο περίοδοι που επηρεάζουν διαφορετικά τμήματα της πλατφόρμας. Η παλαιότερη περίοδος της υποβύθισης κατά το Ανώτερο Ηώκαινο παρατηρείται στο εσωτερικό περιθώριο από τις ενότητες Ολύμπου (+Αλμυροποτάμου – Κερκετέα) που έχουν υποβυθισθεί σε βάθος αρκετών δεκάδων χλμ και έχουν μεταμορφωθεί έως τις ενότητες Γαβρόβου, Τρίπολης και Ιόνια του μεσαίου τμήματος της πλατφόρμας που έχουν αποκολληθεί από το λιθοσφαιρικό τους υπόβαθρο σε υψηλό τεκτονικό όροφο χωρίς την επίδραση μεταμόρφωσης. Η νεότερη περίοδος υποβύθισης κατά το Ολιγόκαινο – Μέσο Μειόκαινο παρατηρείται στις ενότητες Μάνης, Δυτικής Κρήτης και Παξών – Καστελλόριζου που περιλαμβάνουν το εξωτερικό τμήμα/περιθώριο της πλατφόρμας. Η Μάνη και η Δυτική Κρήτη υποβυθίστηκαν κάτω από τις εσωτερικότερες ενότητες της Ιόνιας, Γαβρόβου και Τρίπολης και μεταμορφώθηκαν ενώ οι εξωτερικότερες ενότητες Παξών – Καστελλόριζου παρέμειναν αμεταμόρφωτες. Η προηγούμενη γεωμετρία εκφράζει μία κύρια εσωτερική λεπίωση με υποβύθιση των εξωτερικών ενοτήτων κάτω από τις μεσαίες και εσωτερικές ενότητες. Η διάρρηξη και διαίρεση της παλαιογεωγραφικής οργάνωσης της πλατφόρμας συνέβη κατά την ορογενετική διαδικασία στο Ανώτερο Ηώκαινο μεταξύ των ενοτήτων Μάνης και Ιόνιας που έχουν σχεδόν ταυτόσημη στρωματογραφία από το Ανω Τριαδικό έως το Ηώκαινο. Εντούτοις, η Μάνη υπέστη μεταμόρφωση και πλαστική παραμόρφωση βάθους σε αντίθεση με την Ιόνια που παρέμεινε σε ανώτερο τεκτονικό όροφο χωρίς καμία επίδραση μεταμόρφωσης. Η κατανόηση της διάρρηξης είναι δυνατή όταν γίνει αναπαράσταση των παλαιογεωγραφικών περιβαλλόντων κατά το Περμο-Τριαδικό πριν την εγκατάσταση/έναρξη της ρηχής ανθρακικής ιζηματογένεσης στο Κάρνιο. Έτσι, η παλαιογεωγραφία περιλαμβάνει : 1) Το εξωτερικό τμήμα ενός ηπειρωτικού περιθωρίου με παρουσία ρηχών νηριτικών ασβεστόλιθων στο Πέρμιο κάτω από την Μάνη μέσα στην ακολουθία Φόδελε – Σίσσες του Λιθανθρακοφόρου – Σκύθιου. 2) Μία γειτονική ζώνη ρηξιτάφρου όπου έχουμε απόθεση εβαποριτών κάτω από τις ενότητες Δυτικής Κρήτης και Ιόνιας. 3) Τη μεγαλύτερη μεσαία – εξωτερική περιοχή της πλατφόρμας κάτω από το Γάβροβο και Τρίπολη όπου αναπτύσσεται ένα ηφαιστειο-ιζηματογενές σύμπλεγμα με πελαγικές φάσεις να συμπλέκονται με υποθαλάσσιους ηφαιστειακούς δόμους, κλαστικά ιζήματα ριπιδίων και δελταϊκές φάσεις προωθούμενες από περιοχές έντονης διάβρωσης των περιθωρίων εκτός ρηξιτάφρου. Η Ολιγοκαινική συμπίεση στο μέτωπο της Ελληνικής ζώνης πτυχώσεων/εφιππεύσεων χρησιμοποίησε τις προηγούμενες τεκτονικές δομές της Περμο-Τριαδικής ρηξιτάφρου, όπως παρατηρείται συνήθως στις περιπτώσεις τεκτονικής αναστροφής και διευκόλυνε την εσωτερική υποβύθιση/ αναδίπλωση της πλατφόρμας με υποβύθιση της εξωτερικής περιοχής κάτω από την μεσαία – εσωτερική περιοχή εκατέρωθεν του πεδίου των εβαποριτών.

Παπανικολάου Δ.: Διαφοροποιημένα Περμο-Τριαδικά περιβάλλοντα κάτω από την Εξωτερική Ανθρακική Πλατφόρμα των Ελληνίδων και ο ρόλος των στην εσωτερική της υποβύθιση/αναδίπλωση.

Abstract

The External Carbonate Platform of the Hellenides (H1) is the last tectono-stratigraphic terrane that entered the Hellenic Orogenic Arc in Late Eocene. Its involvement in the thrust and fold belt of the Hellenides lasted until the Late Miocene, when its most external units of Paxos – Kastellorizo were tectonised and the present subduction of the Ionian Oceanic Basin started. Its subduction history is not continuous but it is divided in two periods affecting different segments of the platform. The early period of subduction during Late Eocene is observed in its internal margin from the units of Olympus (+Almyropotamos and Kerketeas) which have been subducted at several decades of km and have been metamorphosed to the Gavrovo, Tripolis and Ionian units of the middle segment of the platform, which have been detached from their lithosphaeric basement at shallow level without the effect of metamorphism. The late period of subduction during Oligocene – Middle Miocene is observed in the units of Mani, Western Crete and Paxos-Kastellorizo which comprise the external segment of the platform. Mani and Western Crete have been subducted beneath the more internal units of Ionian, Gavrovo and Tripolis and have been metamorphosed whereas the more external unit of Paxos-Kastellorizo have remained non-metamorphosed. The above geometry reflects a major internal imbrication with underthrusting of the external units under the middle and internal units of the platform. The break and division of the palaeogeographic organization of the platform has occurred during the orogenic process between the Mani and Ionian units, which have almost the same stratigraphy from Upper Triassic to Eocene. However, Mani has been subjected to metamorphism and ductile deformation contrary to the Ionian which has a shallow tectonic level of deformation without any metamorphic signature. The understanding of this break is possible when restoring the paleogeographic environments during the Permo-Triassic before the onset of the shallow–water carbonate sedimentation in Karnian. Thus, the paleogeography comprises: 1) the external part of an epicontinental margin with shallow-water carbonate platform in the Permian below the present Mani unit. 2) The neighboring rift zone where Triassic evaporites have been deposited below the units of Western Cretye and Ionian. 3) The larger middle – internal part where a volcano-sedimentary complex has been formed with pelagic facies interfingering with volcanic seamounts, alluvial fans and deltaic clastic formations progressing from the areas of intense erosion of the margins outside the rift zones below the units of Gavrovo and Tripolis. The Oligocene compression at the front of the Hellenic thrust and fold belt has used the former tectonic features of the Permo-Triassic rift zones and facilitated the internal subduction of the external segment under the middle and internal segments of the platform on both sides of the evaporite domain.

ACTIVE TECTONICS AND SEISMIC HAZARD IN SKYROS BASIN, NORTH AEGEAN SEA, GREECE *

D. Papanikolaou[1], P. Nomikou[1], D. Lampridou[1], G. Rousakis[2], M. Alexandri[2], I. Papanikolaou[3] and G.P. Farangitakis[1,4]

[1] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

[2] Institute of Oceanography, Hellenic Centre for Marine Research, 19013 Anavyssos, Attiki Greece

[3] Laboratory Mineralogy - Geology, Agricultural University of Athens, 118 55 Athens, Greece

[4] Institute of Modelling and Computation, Hamburg University of Technology, Denickestraße 17, D-21073 Hamburg, Germany

Περίληψη

Λεπτομερής χαρτογράφηση του υποθαλάσσιου χώρου της λεκάνης της Σκύρου πραγματοποιήθηκε το 2003 και το 2013, στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος «ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΚΥΡΟΥ» που ανατέθηκε από τον ΟΑΣΠ στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Κατά την α φάση των εργασιών πεδίου έγινε η βασική εργασία αποτύπωσης της μορφολογίας του υποθαλάσσιου πυθμένα με πολυδεσμικό βυθομετρικό σύστημα multibeam (SEABEAM 2120) και μερικές καθοδηγητικές λιθοσεισμικές τομές (airgun 10 inch3), ενώ κατά τη β φάση έγινε συμπληρωματική αποτύπωση του πυθμένα και διενέργεια λιθοσεισμικών τομών σε επιλεγμένα σημεία, όπου η προκαταρκτική μορφοτεκτονική ερμηνεία του βαθυμετρικού χάρτη είχε εντοπίσει τις κύριες δομές των ενεργών ρηγμάτων. Η λεκάνη της Σκύρου αναπτύσσεται σαν ένα σαφώς διακριτό βύθισμα με βάθη 500-1050μ, μέσα στην πλατφόρμα του κεντρικού Αιγαίου, η οποία χαρακτηρίζεται από βάθη 100-400μ τόσο προς βορρά, όπου εκτείνεται η πλατφόρμα Λήμνου-Βορείων Σποράδων όσο και προς νότο όπου εκτείνεται η πλατφόρμα Λέσβου–Ψαρρών. Έχει σχεδόν τριγωνικό σχήμα με μεγαλύτερο πλάτος περίπου 40 χλμ., ΒΑ της νήσου Σκύρου, που ελαττώνεται προς την ΒΑ κατεύθυνση και στενεύει απότομα, σε απόσταση περίπου 90 χλμ από την Σκύρο, φτάνοντας τα 8 χλμ βορειοδυτικά της Λέσβου, συνεχίζοντας για ακόμη 50 χλμ με περιορισμένο εύρος έως περίπου τις ακτές της Μικράς Ασίας στην Τουρκία. Στο σημείο της απότομης μεταβολής - σημείο καμπής, παρατηρείται επίσης αλλαγή τόσο στη γενική διεύθυνση του προσανατολισμού της λεκάνης όσο και του βάθους, διαφοροποιώντας την λεκάνη σε δυτικό τμήμα με γενική διεύθυνση Β 500Α, και σε ανατολικό τμήμα με διεύθυνση Β 700 Α, σχηματίζοντας μία γωνία περίπου 200. Η κύρια λεκάνη που αποτελεί το δυτικό τμήμα παρουσιάζει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση παράλληλη με τις ακτές της νήσου Σκύρου, και περιέχει 5 επιμέρους βαθιές υπολεκάνες με βάθος της τάξης των 900μ, με βαθύτερη (1059μ.) την νοτιότερη υπολεκάνη ανατολικά της Σκύρου. Αντίθετα, στο κέντρο της λεκάνης επικρατεί η Α-Δ διεύθυνση, ενώ στο ανατολικό τμήμα της δυτικής λεκάνης η διεύθυνση γίνεται ΔΒΔ-ΑΝΑ. Στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης το βάθος μειώνεται σημαντικά κυμαινόμενο μεταξύ 700 και 550μ. με μείωση προς τα ΑΒΑ. Οι επί μέρους υπολεκάνες του ανατολικού τμήματος διαδέχονται η μία την άλλη, διαχωριζόμενες μεταξύ τους από ρηχά υβώματα βάθους περίπου 400μ. Είναι χαρακτηριστικό ότι η διεύθυνση των επί μέρους υπολεκανών του ανατολικού τμήματος εναλλάσσεται στις διευθύνσεις Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ. Συγκεντρωτικά, προκύπτει ότι 66% περίπου της λεκάνης αντιπροσωπεύεται από τον οριζόντιο πυθμένα των λεκανών και την πλατφόρμα με κλίσεις 0-30, το 30% αντιστοιχεί στα πρανή της κατωφέρειας με κλίσεις 3-12% και το 5% στους υποθαλάσσιους κρημνούς με κλίσεις 12-550. Οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, οι υποθαλάσσιοι κρημνοί καθώς και το μεγαλύτερο μέρος των πρανών της κατωφέρειας, οριοθετούν συγκεκριμένες ζώνες που αποδίδονται σε ενεργές ρηξιγενείς δομές:

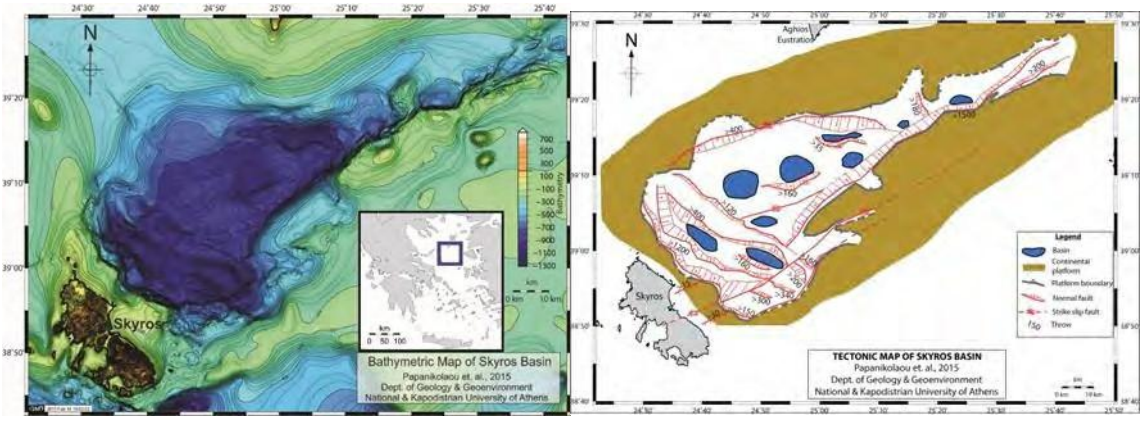
* Παπανικολάου Δ., και συν.: Τεκτονική και Σεισμική Επικινδυνότητα της λεκάνης της Σκύρου.

- Στα νοτιοδυτικά πρανή της λεκάνης και παράλληλα με τις ακτές της Σκύρου με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ, όπου έχουμε 3-4 παράλληλες ζώνες.
- Κατά μήκος των νότιων πρανών της λεκάνης έχουμε μία έντονη ζώνη με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ.
- Μία μικρή ζώνη διεύθυνσης Α-Δ στο κεντρικό τμήμα του βορείου περιθωρίου της λεκάνης.

Τα ροδογράμματα των κλίσεων ταυτοποιούν τις δομές που προαναφέρθηκαν, καταδεικνύοντας μία εξάρτηση του προσανατολισμού από το μέγεθος των τιμών των κλίσεων των πρανών. Έτσι, στις μεγάλες κλίσεις (>150) παρατηρούνται δύο κύριες διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ που καθορίζουν και τα κύρια περιθωριακά ρήγματα της λεκάνης στο νότιο και το δυτικό περιθώριο, στις μεσαίες κλίσεις άνω των 30 αναπτύσσονται οι μικρότερες δομές Α–Δ, ενώ στις ελάχιστες κλίσεις (00–10) παρατηρούμε την ανάπτυξη υπολεκανών διευθύνσεων Α–Δ και ΒΑ–ΝΔ, με τα πρανή να κλίνουν εκατέρωθεν του άξονα διεύθυνσης. Εκ της ερμηνείας των δεδομένων των λιθοσεισμικών τομών και την μορφοτεκτονική ερμηνεία των βαθυμετρικών στοιχείων προέκυψε ο συνθετικός τεκτονικός χάρτης της λεκάνης της Σκύρου ο οποίος αποκαλύπτει μία σύνθετη δομή. Έτσι, από τα δυτικά προς τα ανατολικά η λεκάνη της Σκύρου μπορεί να διακριθεί σε τρείς χαρακτηριστικές περιοχές που εκφράζουν και αντίστοιχες μορφοτεκτονικές δομές:

1. Μία ζώνη διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, μήκους περίπου 40 χλμ και εύρους περίπου 25 χλμ, με μορφή σχεδόν συμμετρικής τάφρου σε βάθος 700-950 μ., και άξονα βύθισης περίπου κατά μήκος των δύο δυτικών υπολεκανών. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από εφελκυστικό εντατικό πεδίο σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και οριοθετείται από ΒΔ-ΝΑ ρήγματα που έχουν άλματα αρκετών εκατοντάδων μέτρων. Το μεγαλύτερο άλμα 1200μ, παρατηρήθηκε στα δύο δυτικά περιθωριακά ρήγματα της υφαλοκρηπίδας της Σκύρου, όπου το αλπικό υπόβαθρο εμφανίζεται στην επιφάνεια προς την πλευρά του δαπέδου, ενώ αντίθετα, προς την πλευρά του βυθισμένου ρηξιτέμαχος εντοπίζεται κάτω από τουλάχιστον 700μ. ιζημάτων.
2. Μία τριγωνική περιοχή που ξεκινάει με εύρος 40 χλμ, από την ζώνη της δυτικής τάφρου και καταλήγει ανατολικά στο σημείο καμπής μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος, όπου το εύρος περιορίζεται σε 5 χλμ. Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται οριζοντιολισθητικές δομές διεύθυνσης Α-Δ, οι οποίες ξεκινούν από το ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης νότιο όριο της λεκάνης, και διασχίζουν την λεκάνη προς τα δυτικά. Οι δομές αυτές ανιχνεύονται με τις μορφές των ανθοδομών και έχουν, κατά κανόνα, μικρή κατακόρυφη συνιστώσα μερικών εκατοντάδων μέτρων. Αφ' ενός το βόρειο όριο της περιοχής αυτής προς την πλατφόρμα της Λήμνου, οριοθετείται από Α-Δ ρήγματα, αφετέρου και οι υπολεκάνες που διαμορφώνονται στο εσωτερικό της τριγωνικής περιοχής έχουν διεύθυνση Α-Δ.
3. Το ανατολικό τμήμα της λεκάνης, μία επιμήκης δομή εύρους 5-8 χλμ, με την μορφή τεκτονικής ημιτάφρου, η οποία δημιουργείται από μία ουσιαστικά ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ. Το κύριο ρήγμα της ζώνης έχει άλμα τουλάχιστον 1500μ και άγνωστη οριζόντια συνιστώσα. Η δομή αυτή εκτείνεται σε μήκος τουλάχιστον 45 χλμ χωρίς να μπορεί να οριοθετηθεί πιο ανατολικά προς της ακτές της Τουρκίας.

Η όλη δομή της λεκάνης της Σκύρου προσομοιάζει την δομή της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου, όπου το νότιο όριο διαμορφώνεται από ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, το δυτικό όριο στις ακτές του Πηλίου από ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ενώ στο εσωτερικό της λεκάνης παρατηρούνται ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ. Με βάση τα μήκη των 19 συνολικά χαρτογραφηθέντων ενεργών ρηγμάτων καθώς και το μέγεθος του σεισμού που κάθε ρήγμα μπορεί να δώσει σύμφωνα με τις εμπειρικές καμπύλες εκτιμήθηκε ο σεισμικός κίνδυνος της περιοχής όπου αναμένονται σεισμοί μεγέθους 5,9 έως 7,5 της κλίμακας Richter.



Εικόνα 1.

Abstract

Oceanographic research including swath bathymetry and single channel air-gun lithoseismic profiles was carried out in Skyros Basin, North Aegean Sea. Morphotectonic analysis and the interpretation of the lithoseismic profiles have resulted in the composure of the tectonic map of Skyros Basin. The map shows all active faults, both the major marginal faults as well as the secondary faults that accommodate deformation within the internal part of the basin. Important throws of several hundred meters up to more than 1 km are extracted as well as considerable strike-slip components since Middle Pleistocene time. The length of the faults ranges between a few tens of km up to 111 km, indicating that these seismic sources have the potential to generate strong earthquakes up to 7.5 magnitude. The vast majority of the mapped seismic sources have not been ruptured or recorded in the historical seismicity data, implying that theseismic hazard of the area might be underestimated.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Papanikolaou D., Alexandri M., Nomikou P. and Ballas D. 2002. Morphotectonic structure of the western part of the North Aegean Basin based on swath bathymetry, Marine Geology, 190, 465-492.

Papanikolaou, D., Alexandri, M., Nomikou, P., 2006. Active faulting in the north Aegean basin. Geol. Soc. America, Sp. Paper 409, 189-209, doi:10.1130/2006.2409 (11).

Papanikolaou, I.D., Papanikolaou, D.I., 2007. Seismic hazard scenarios from the longest geologically constrained active fault of the Aegean. Quaternary, 171-172, 31-44.

Papanikolaou, D., Nomikou, P., Rousakis G., Livanos, I., Papanikolaou, I. 2015. Active Tectonics and Seismic Hazard in Skyros Basin, North Aegean Sea, Greece. 6th International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archaeoseismology, 19-24 April 2015, Pescina, Fucino Basin, Italy.

Wells, D.L. and Coppersmith K. J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America.

GEOLOGICAL-SEISMOTECTONIC STUDY OF THE WIDER AREA OF IOANNINA (SEISMIC REGION OF THE EARTHQUAKE OCTOBER 15, 2016)*

Sp. Pavlides[1], Ath. Ganas[2], G. Papathanasiou[1], S. Valkaniotis[1], E. Thomaidou[1], G. Georgiadis[1], S. Sboras[1,2] and Al. Chatzipetros[1]

[1] Earthquake Geology Research Team, Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece (http://eqgeogr.weebly.com/)

[2] Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, 11810 Athens, Greece (aganas@noa.gr)

Περίληψη

Μετά τον Σεισμό της 15ης Οκτωβρίου 2016, Mw=5.3, στην ευρύτερη περιοχή Ιωαννίνων, τίθεται το πρόβλημα της επανεξέτασης της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής με νεότερες σύγχρονες μεθόδους και τεχνικές, σε σχέση με την γεωλογική-σεισμολογική ιδιομορφία της πρόσφατης σεισμικής ακολουθίας. Επίσης εξετάζεται η σεισμική διέγερση κατολισθήσεων και άλλων εδαφικών παραμορφώσεων. Στην παρούσα εργασία επανεξετάζονται, η Γεωλογική Δομή της περιοχής (Στρωματογραφία – Τεκτονική - Ενεργά Ρήγματα) και επιχειρείται η σεισμοτεκτονική μελέτη των χαρακτηριστικών του σεισμού της 15ης Οκτωβρίου 2016.

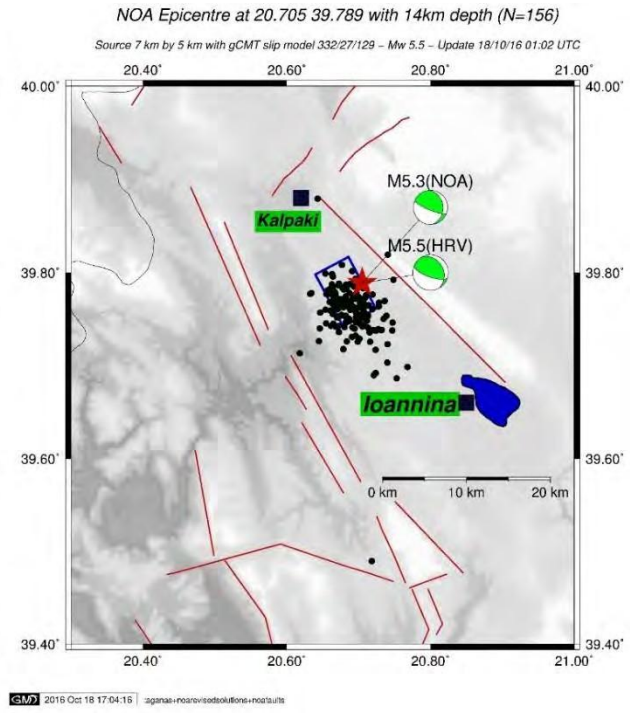
Το επίκεντρο του κύριου σεισμού προσδιορίστηκε από το ΓΕΙΝ/ΕΑΑ (ΝΟΑ) 39.789N - 20.705E και σε βάθος 14 km (λύση moment tensor), περίπου 20 km Βόρειο-Βορειοδυτικά των Ιωαννίνων. Το μέγεθος ροπής μετρήθηκε σε 5.3 (ΝΟΑ) και 5.5 από το κέντρο HRV. Μεταξύ 15/10 – 18/10/2016 καταγράφηκαν από το ΝΟΑ 156 μετασεισμοί με μεγέθη 1,4 – 4,9 (Χάρτης σχήματος 1). Η ΒΔ-ΝΑ διάταξη των μετασεισμών συμφωνεί με το ΒΒΔ επίπεδο των μηχανισμών γένεσης (353°/26°/148° ΝΟΑ), με κλίση προς ανατολάς (γωνία κλίσης 26-27°). Η κατά-μήκος εξάπλωση των μετασεισμών υποδηλώνει την ενεργοποίηση μίας ρηξιγενούς ζώνης 10-12 km.

Ο Σεισμός της 15ης Οκτωβρίου, εντάσσεται σε ένα γεωτεκτονικό περιβάλλον λιθοσφαιρικής συμπίεσης, που συγκροτείται από τη ραχοκοκαλιά της Πίνδου, από Νότια Αλβανία διατρέχοντας τη Δυτική Ελλάδα, σχεδόν σε Βόρεια-Νότια διεύθυνση. Ένα σεισμικά ενεργό περιβάλλον με ιστορικό ισχυρών σεισμών με τελευταίους αυτούς του 1960 (βορειότερα: Νότια Αλβανία, M> 6.5, μέγιστη ένταση 8,5 (VIII+) και 1967 νοτιότερα, Άρτα-Ιωάννινα, (Μάιος, M=6.4, μέγιστη ένταση 9 (IX). Ο πρόσφατος σεισμός συνδέεται με γνωστή ζώνη ρηγμάτων όπως έχει καταγραφεί και προσδιοριστεί στη Βάση Δεδομένων Σεισμογενετικών Πηγών του Ελλαδικού χώρου GreDaSS (Greek Database of Seismogenic Sources, www.gredass.unife.it,). Το σεισμογόνο ρήγμα (ή ομάδα ρηγμάτων) είναι “ανάστροφο” ή ρήγμα “εφίππευσης” με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και κλίση προς τα ανατολικά. Τα ανώτερα στρώματα του φλοιού της Ηπείρου (brittle), που έχουν ένα εκτιμώμενο μέγιστο πάχος 8-10 Km, δεν παρουσιάζουν σημαντική σεισμικότητα. Η βαθύτερη σεισμικότητα 10-20 χιλιόμετρων, όπως του πρόσφατου σεισμού, οφείλεται σε διεργασίες του φλοιού με ανάστροφα-εφιππευτικά ρήγματα. Γι’ αυτό η περίπτωση αυτού του σεισμού είναι ιδιόμορφη, πολύπλοκη και απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη και προσοχή.

Ο ακριβής προσδιορισμός του σεισμογόνου ρήγματος και οι διαστάσεις του, αν και δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με την υπαίθρια μελέτη, μελετώνται με σεισμολογικά και γεωδαιτικά δεδομένα (GPS, δορυφορικές εικόνες) καθώς και η σεισμική συμπεριφορά του. Η υπαίθρια παρατήρηση σε συνδυασμό με τα ενόργανα δεδομένα προσπαθεί να προσδιορίσει, αν το ρήγμα που ενεργοποιήθηκε είναι ένα δευτερεύον ρήγμα με δυναμικότητα σεισμών μεγέθους της τάξης 5.0 με 5.5 όπως ο σεισμός της 15/11/2016

*Παυλίδης Σ. και συν: Γεωλογική-Σεισμοτεκτονική Μελέτη της ευρύτερης περιοχής Ιωαννίνων (σεισμογόνος περιοχή του σεισμού της 15ης Οκτωβρίου 2016).

ή τμήμα (seismogenic segment) ενός μεγαλύτερου ρήγματος ή μιας ζώνης ρηγμάτων δυναμικότητας ανάλογης των ιστορικών σεισμών της περιοχής.



Εικόνα 1. Χάρτης της πλειόσειστης περιοχής του σεισμού της 15/10/2016. Ο κύριος σεισμός (προσδιορισμός ΝΟΑ) σημειώνεται με κόκκινο αστέρι, οι μετασεισμοί με μαύρους κύκλους, ενεργά ρήγματα με κόκκινες γραμμές και με γαλάζιο παραλληλόγραμμο περιγράφεται η προβολή του σεισμικού ρήγματος στην επιφάνεια. Με μπαλονάκια δείχνονται οι μηχανισμοί γένεσης για τον κύριο σεισμό που δείχνουν ενεργοποίηση ανάστροφου ρήγματος.

Abstract

After the recent Earthquake of October 15, 2016, Mw=5.3 (or 5.5), in the wider area of Ioannina, the problem of reviewing the geological structure of the broader region with new and modern methods and techniques, in relation to the geological-seismological peculiarity of the recent seismic sequence, arises. The seismic stimulation of landslides and other soil deformations is also examined. In this paper, the geological structure of the area is reviewed (Stratigraphy - Tectonics - Active Faults) and there is an attempt for seismotectonic study of the characteristics of the Earthquake of October 15, 2016.

The Earthquake of October 15, is part of a geotectonic environment of lithospheric compression, which comprises the backbone of Pindos, from southern Albania traversing Western Greece, almost in North-South direction. A seismically active region with a history of strong earthquakes such as these of 1969, Ms=5.8, of 1960 (northernmost: South Albania, M> 6.5, maximum intensity 8.5 (VIII +) and of 1967 southern, at Arta-Ioannina (May, M = 6.4, maximum intensity 9 (IX). The recent earthquake is associated with a known fault zone as recorded and identified in the Greek Database of Seismogenic Sources GreDaSS (www.gredass.unife.it).

The seismic fault is "reverse" or "high-angle thrust" fault with NNW-SSE direction and dipping to the east. The upper layers of the Epirus crust (brittle), which have an estimated maximum thickness of 10 kilometers, do not comprise any significant seismicity. The deeper seismicity of 10-20 kilometer, such as this of the recent earthquake, is due to crustal processes with reverse – high-angle thrust faults. That is why the case of this earthquake is peculiar, complex and requires careful study and attention.

The precise determination of the seismogenic fault and its dimensions, although it isn't possible to be determined by field study, they are studied through seismological and geodetic data (GPS, satellite images, stress transfer), as well as its seismic behavior. The field observation combined with instrumental data tries to determine, if the activated fault is a secondary fault with a capacity size of earthquakes in the range of 5.0 to 5.5 as the earthquake of 15/11/2016 or part (seismogenic segment) of a larger fault ora fault zone of a capacity comparable to the historical earthquakes in the region.

GROUND DEFORMATION OF THE 24/8 AND 26-30/10/2016 AMATRICE-VETTORE-NORCIA EARTHQUAKES (CENTRAL ITALY)*

Sp. Pavlides, Al. Chatzipetros, G. Papathanasiou, G. Georgiadis, S. Valkaniotis and S. Sboras

Earthquake Geology Research Team, Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece (http://eqgeogr.weebly.com/)

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη μελέτη των εδαφικών συν-σεισμικών διαρρήξεων στα όρια των καρστικών λεκανών Norcia και La Piana di Castelluccio, σε υψόμετρο ~ 1400 m, στο βουνό Monte Vettore (υψομ. 2476m) και Vettoretto με τα τρία χαρτογραφημένα ρήγματα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Οι επιφανειακές συν-σεισμικές διαρρήξεις, στο τμήμα του ρήγματος (segment) Vettore και Vettoretto εμφανίζονται για ορισμένα χιλιόμετρα (~ 7 km) στους σεισμούς του Αυγούστου σε μεγάλα υψόμετρα, ενώ παρατηρείται επαναδραστηριοποίηση τους και επέκτασή τους βορειότερα στους σεισμούς του Οκτωβρίου.

Οι 3D εικόνες που προέκυψαν από την ανάλυση και επεξεργασία φωτογραφιών που λήφθηκαν με UAV (Drone), δείχνουν με λεπτομέρεια επιλεγμένες θέσεις με συν-σεισμικές διαρρήξεις (κοίτη ρέματος, τεκτονικό πρανές και οι διαρρήξεις της 24/8/2016, καθώς και το δεύτερο νεοτεκτονικό ρήγμα της δυτικής κλιτύος του Mt Vettore, που ενεργοποιήθηκε με τους σεισμούς 26-30/10/2016). Διαρρήξεις με άλματα 5-15 cm εμφανίζονται τόσο σε κορήματα και σε μανδύα αποσάθρωσης (ελλούβιο), όσο και σε πετρώματα του υποβάθρου, κυρίως πολυδιαρρηγμένα ανθρακικά πετρώματα, σε μικρές τεκτονικές επιφάνειες.

Οι πολυάριθμες παρατηρούμενες και χαρτογραφημένες καταπτώσεις βράχων, ολισθήσεις γεωυλικών κτλ. εμφανίζονται κυρίως κατά μήκος του ορεινού οδικού δικτύου, σε τεχνητά πρανή. Μελετήθηκαν με προκαταρτική χαρτογράφηση από δορυφορικές εικόνες, και παρουσιάζονται παραδείγματα μεγάλων κατολισθήσεων στην πλειόσειστη περιοχή σε εικόνες λήψης προ- και μετά το σεισμό (Sentinel-2A, ESA, μέγεθος pixel 10m).

Τέλος, συζητούνται η γεωλογική δομή της πλειόσειστης περιοχής και κυρίως η πολυπλοκότητα των κανονικών σεισμογενετικών ρηγμάτων, καθώς και η μεταφορά τάσεων (stress transfer) από τη δραστηριοποίηση των ρηγμάτων.

Εικόνα 1. Πανοραμική άποψη του σεισμικού ρήγματος στο βουνό Vettore (αριστερά) και λεπτομέρειες του σεισμογόνου ρήγματος στο ίδιο βουνό (δεξιά).

* Παυλίδης Σ. και συν.: Εδαφικές παραμορφώσεις των σεισμών Amatrice – Vettore – Norcia (κεντρική Ιταλία) της 24/8 και 26-30/10/2016

Abstract

This paper presents the results from the study of the ground co-seismic ruptures around the karstic basins of Norcia and La Piana di Castelluccio, at an altitude of ~ 1400 m, on the Monte Vettore (altitude 2476m) and Vettoretto, as well as the three seismogenic mapped NNW-SSW striking faults. Surface co-seismic ruptures, were observed in the Vettore and Vettoretto segment of the fault for some kilometers (~7 km) in the August earthquakes at high altitudes, and were re-activated and expanded northward during the October earthquakes.

The 3D images derived from the analysis and processing of images shot with UAV (Drone), show in detail selected locations with co-seismic rupture (stream, tectonic slope and ruptures of the 08/24/2016 event, and the second Neotectonic fault at the western slope of Mt Vettore, triggered by the 26-30/10/2016 earthquakes). Ruptures with 5-15 cm displacements are observed both in scree and weathered mantle (eluvium) and the bedrock, mainly fragmented carbonate rocks with small tectonic surfaces.

Numerous observed and mapped rock falls, slides of earth-materials etc., occur mainly along the mountain roads, on artificial slopes. They were studied with preliminary mapping from satellite imagery, and examples are presented of large landslides in the epicentral region with pre- and after- the earthquake images (Sentinel-2A, ESA, pixel 10m size).

Finally, the geological structure of the epicentral region and mainly the complexity of the seismogenic faults is discussed, as well as the stress transfer by the activation of the faults.

THE UPPER PLATE OF THE CRETAN DETACHMENT IN CENTRAL RETHYMNON CRETE: STRUCTURE AND KINEMATICS *

A. Provias, K. Soukis, Em. Skourtsos, S. Lozios and A. Alexopoulos

Section of Dynamic Tectonic Applied Geology, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εστιάζει και αναλύει τη δομή της υπερκείμενης πλάκας της Κρητικής Αποκόλλησης, στην Κεντρική Κρήτη. Η λεπτομερής χαρτογράφηση των ενοτήτων σε κλίμακα 1:10.000 σε συνδυασμό με τα κινηματικά στοιχεία που βρέθηκαν και συλλέχθηκαν κατά μήκος των κύριων και δευτερευόντων τεκτονικών επαφών αποκάλυψε επιμέρους επεισόδια της τεκτονικής εκγύμνωσης της υπερκείμενης πλάκας κατά την άνοδο της υποκείμενης μεταμορφωμένης ενότητας Φυλλιτών Χαλαζιτών.

Η Κρήτη αποτελεί το νοτιότερο τμήμα του Ελληνικού τόξου, νότια από την Αττικοκυκλαδική και τα "θερμά" συμπλέγματα μεταμορφωμένου πυρήνα (Hot metamorphic core complex). Στην Κρήτη η άνοδος των μεταμορφωμένων προς την επιφάνεια έλαβε χώρα κατά μήκος μίας σχετικά ψυχρής γεωθερμικής βαθμίδας και συντελέστηκε σε μεγάλο βαθμό από την Κρητική Αποκόλληση, κατά το Μέσο –Άνω Μειόκαινο.

Στην περιοχή της Κεντρικής Κρήτης η έρευνα εστίασε στις ενότητες της υπερκείμενης πλάκας της Κρητικής αποκόλλησης, η οποία περιλαμβάνει τις εξής ενότητες από την κατώτερη προς την ανώτερη: την Ενότητα Τρίπολης, με παχυστρωματώδη ανθρακικά πετρώματα και μικρές εμφανίσεις των υποκείμενων Ραβδούχων Στρωμάτων, την Ενότητα Πίνδου, με πελαγικές ανθρακικές και κλαστικές λιθολογίες του Κρητιδικού και έναρξη φλύσχη στο Ανώτατο Κρητιδικό, την Ενότητα Βάτου, που χαρακτηρίζεται από λιθολογική ποικιλία (σχιστοποιημένες λάβες και κλαστικοί σχηματισμοί, ανακρυσταλλωμένα ανθρακικά και οφιολιθικά πετρώματα υπό μορφή ολισθόλιθων) και πολύπλοκη εσωτερική δομή που δεν επιτρέπει συμπεράσματα για τη λιθοστρωματογραφία της.

Η σημερινή διευθέτηση των ενοτήτων έχει προκύψει από ένα σύστημα ρηξιγενών επιφανειών μικρής και μέτριας κλίσης από τις οποίες κάποιες είναι κύριες και κάποιες δευτερεύουσες. Η Κρητική Αποκόλληση διακρίνεται σε δύο επί μέρους κύριες δομές μικρής κλίσης από τις οποίες η βορειότερη φέρνει σε επαφή την ενότητα Τρίπολης με την ενότητα Φυλλιτών - Χαλαζιτών ενώ η νότια φέρνει σε επαφή τις ενότητες Βάτου και Πίνδου με την ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών. Το τεκτονικό πέτρωμα κατά μήκος της νοτιότερης νεότερης δομής είναι ένας μη συνεκτικός κατακλασίτης ενώ τα κινηματικά στοιχεία που τον συνοδεύουν (Riedel shears, ασύμμετροι κλάστες κ.α.) δείχνουν ότι η ολίσθηση των υπερκείμενων καλυμμάτων έγινε προς νότο. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις η Κρητική Αποκόλληση είναι μία αρκετά πολύπλοκη δομή λιθοσφαιρικής κλίμακας η οποία αποτελείται από ένα σύστημα ρηγμάτων μικρής κλίσης που έδρασαν διαδοχικά και οδήγησαν στη λέπτυνση της υπερκείμενης πλάκας.

Abstract

This paper focuses on the structure and kinematics of the upper plate to the Cretan Detachment in central Crete. Detailed mapping in 1:10.000 combined with structural observations and kinematic evidence along primary and secondary fault zones revealed that the tectonic denudation of the upper plate rocks took place in an episodic manner during exhumation of the underlying Phyllite – Quartzite Unit.

Προβιας, Α., και συν.: Δομή και κινηματική της υπερκείμενης πλάκας της Κρητικής Αποκόλλησης στην κεντρική Κρήτη.

The Island of Crete is situated at the southern edge of the Hellenic Arc, south of the the hot metamorphic core complexes identified in the Attic-Cycladic region. In Crete the exhumation of metamorphic rocks took place along a cold geothermal gradient and it was accommodated by the Cretan Detachment in the middle to late Miocene.

In the central part of Rethymnon Crete, research focused on the units of the Cretan Detachemnt upper plate, which includes from top to bottom the following units: the Tripolitza Unit, composed of thick bedded carbonate rocks and sparse occurrences of the underlying Rabdoucha beds, the deep marine Cretaceous clastic sediments and limestones of Pindos Unit and flysch onset in the Late Cretaceous and the Vatos Unit, which has a lithological variety (lavas with foliation and clastic formations, recrystallized carbonates and olistholiths of ophiolitic rocks) and a complicated inner structure.

According to field relations present-day configuration of the upper plate units has resulted from a complex system of low- to medium angled primary and secondary normal faults. The Cretan Detachment itself is distinguished into two primary faults. The older northern segment juxtaposes mainly Tripolitza unit against the footwall Phyllite – Quartzite whereas the southern and younger segment has juxtaposed Pindos and Vatos units against Phyllite – Quartzite. Along the southern, segment non-cohesive cataclasites, with numerous shear sense indicators e.g. Riedel shears, asymmetric clasts etc., indicate that this part of the Cretan Detachment slip was accommodated in the brittle field and with top to south sense of shear. Based on the above the Cretan Detachment is a complicate crustal scale detachment system that included at least two generations of low-angle normal faults corresponding to two successive episodes of lower plate exhumation.

MORPHOTECTONIC STUDY OF AGHIOI APOSTOLI-VARNAVAS NE ATTICA*

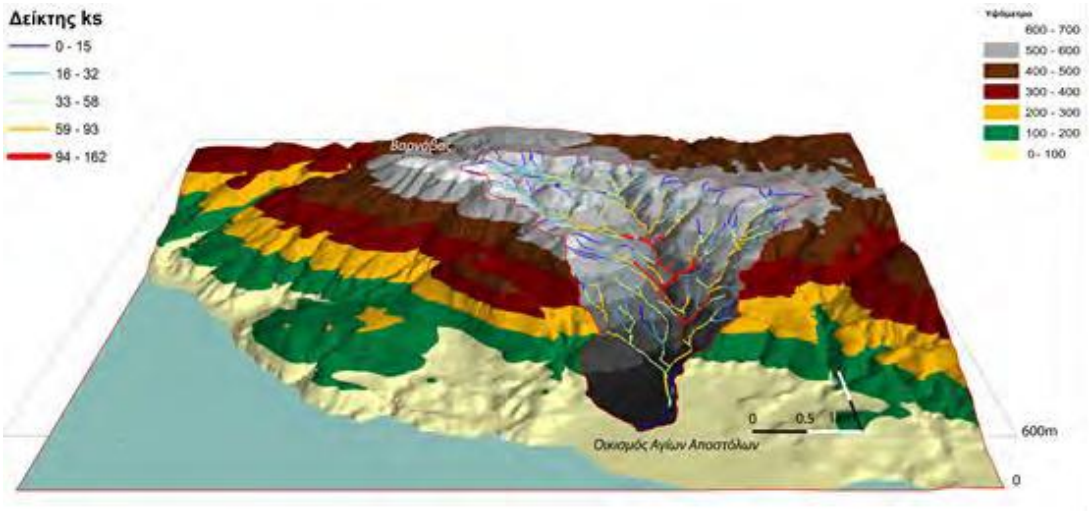
Ph. Sakellaropoulos[1], E. Vasilakis[2] and S. Lozios[1]

[1] Section of Dynamic Tectonic Applied Geology, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece (phsakel@hotmail.gr, slozios@geol.uoa.gr)

[2] Section of Geography and Climatology, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece (evasilak@geol.uoa.gr)

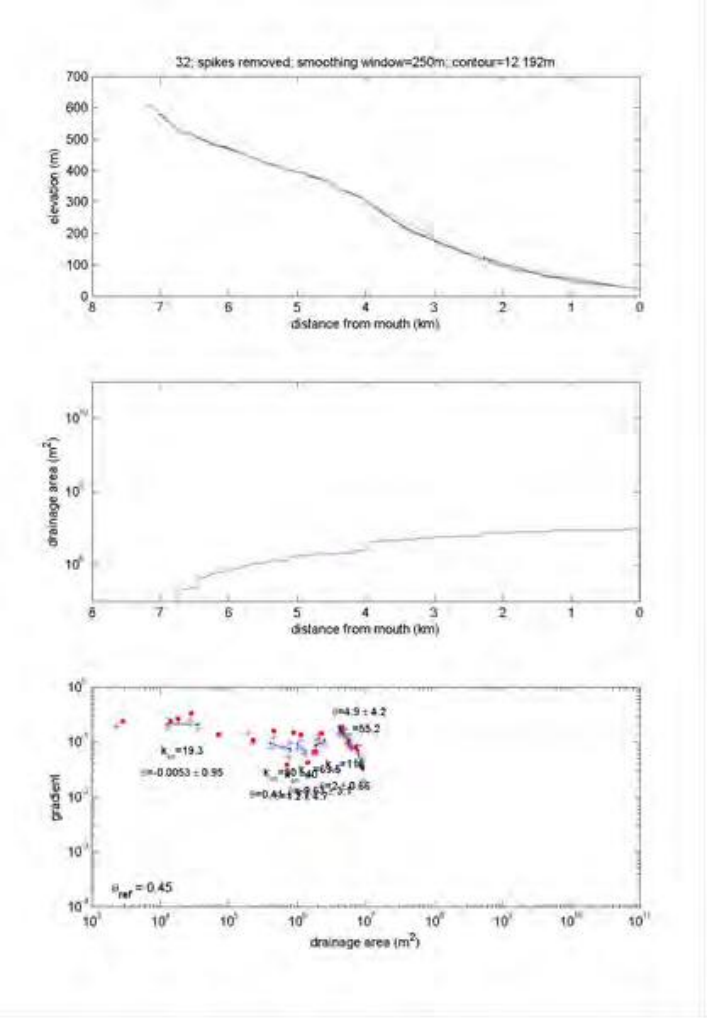
Περίληψη

Με βάση την εξέταση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών και τεκτονικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής των Αγίων Αποστόλων- Βαρνάβα ΒΑ Αττικής, γίνεται ο συσχετισμός των διαφόρων γεωμορφών και γενικότερα των υδρολογικών λεκανών με τη νεοτεκτονική δραστηριότητα, που διαμορφώνουν την σημερινή εικόνα. Η εξαγωγή των συμπερασμάτων βασίστηκε στην κατασκευή και ανάλυση Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφου, στην εφαρμογή μορφοτεκτονικών δεικτών και τεχνικών Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με παρατηρήσεις υπαίθρου. Χρησιμοποιήθηκαν λογισμικά Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ArcGIS), υπολογιστικά προγράμματα (Matlab), καθώς και άλλα λογισμικά για την εξαγωγή διαγραμμάτων και την επεξεργασία εικόνων. Η περιοχή της ΒΑ Αττικής αποτελεί το κύριο ρηξιτέμαχος που οριοθετείτε από τον ρήγμα των Αφιδνών στα νότια και το ρήγμα του Ωρωπού στα βόρεια. Στην ίδια περιοχή παρατηρούνται ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ παράλληλα στην ακτογραμμή, που διαμορφώνουν διαδοχικές τάφρους και κέρατα, τα οποία οριοθετούνται από ρηξιγενείς ζώνες διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Τα ρήγματα αυτά επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά των τριών υδρολογικών λεκανών, που μελετήθηκαν δημιουργώντας χαρακτηριστικές δομές knickpoints, καθώς και ασύμμετρη ανάπτυξη υδρογραφικών δικτύων που αποκαλύπτουν περιστροφές μικρότερων ρηξιτεμάχων. Οι διακυμάνσεις των τιμών των μορφοτεκτονικών δεικτών και τα υπόλοιπα δεδομένα της περιοχής υποδεικνύουν ότι η περιοχή υφίσταται σημαντική ανύψωση.



Εικόνα 1. Μεταβολή του δείκτη ks της Λεκάνης Α σε τρισδιάστατο μοντέλο της ευρύτερης περιοχής των Αγίων Αποστόλων-Βαρνάβα.

Σακελλαρόπουλος Φ., και συν.: Μορφοτεκτονική ανάλυση της περιοχής των Αγίων Αποστολών ΒΑ Αττικής.



Εικόνα 2. Παράδειγμα δεδομένων slope-area σε διαμήκη προφίλ, από επεξεργασία ΨΜΑ στην περίπτωση μελέτης της Λεκάνης Α.

Abstract

The study of geological, geomorphological and tectonic characteristics of the region of Aghioi Apostoli-Varnavas NE Attica led to the conclusion that there is a serious relationship between the neotectonic activity and various landforms, which were found in three selected drainage basins. This work was based on the interpretation and analysis of high resolution Digital Elevation Models, used for applying Tectonic Geomorphology indices and Remote Sensing techniques combined with field work observations. The processing required that several software packages were used in a GIS environment (ArcGIS) such as numerical computing programs (MATLAB), as well as software for diagram plotting and image processing. The area of NE Attica forms a large fault block bounded by the Afidnai fault towards south and the Oropos fault at the north both trending NW-SE. The three studied hydrological basins cover a critical area of the NE boundary of the main fault block and the drainage network seems to reflect the neotectonic activity by creating knickpoint structures and asymmetrical development. A number of NW-SE trending fault zones complete the deformation of the main fault block, forming horsts and grabens along the same orientation. Additionally, fault zones in NE-SW direction are presented up in the same area. These observations are in agreement with rotation of the smaller blocks, which was also observed during the fieldwork. The fluctuation of geomorphic indices values, in combination with collected field data, suggests significant uplift of the region.

GEOMORPHIC EVIDENCE OF ACTIVE TECTONIC DEFORMATION ON THE SW GULF OF CORINTH, RESULTING FROM COMBINED ONSHORE AND OFFSHORE DATA*

E. Simou[1], P. Nomikou[1], D. Papanikolaou[1] and V. Lykousis[2]

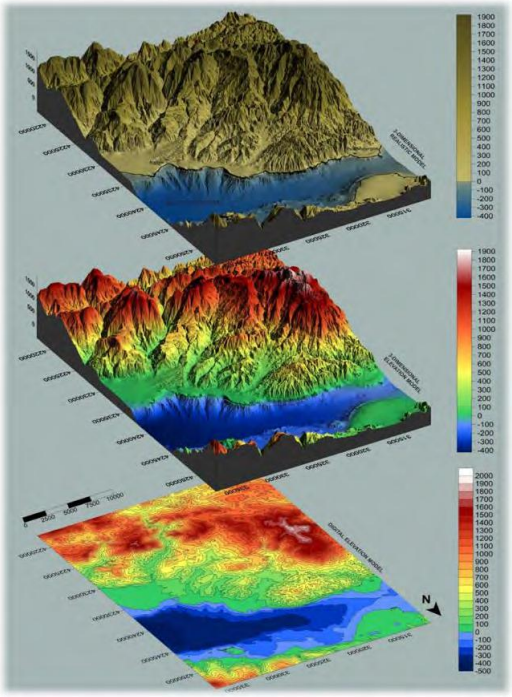
[1] Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

[2] Institute of Oceanography, Hellenic Centre for Marine Research, 19013 Anavyssos, Attiki, Greece

Περίληψη

Οι γεωδυναμικές και γεωμορφολογικές ενδείξεις σε ενεργά τεκτονικά περιβάλλοντα, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των τεχνολογικών μέσων τα τελευταία χρόνια (συνεισφορά γεωδαιτικών μεθόδων, δορυφορικές εικόνες, ψηφιακή τοπογραφία, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών), είναι δυνατό να προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση των φυσικών γεωλογικών διεργασιών. Σε ενεργές περιοχές ηπειρωτικής διάνοιξης (ταφρογένεσης) που χαρακτηρίζονται από έντονη τεκτονική παραμόρφωση, όπως είναι ο Κορινθιακός Κόλπος, τον τεκτονικό έλεγχο έχουν κυρίως οι υψηλοί ρυθμοί έκτασης που καταγράφονται, οι οποίοι αγγίζουν τα 14±2 mm/yr. Ο Κορινθιακός Κόλπος, ως το βορειότερο και πιο ενεργό τμήμα της Κορινθιακής Τάφρου, φαίνεται να αποτελεί ένα φυσικό εργαστήριο που ενδείκνυται για τη μελέτη των σύγχρονων μορφοτεκτονικών διεργασιών. Η έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα, η οποία συνδέεται με τις μεγάλης κλίμακας ρηξιγενείς δομές που έχουν χαρτογραφηθεί στην περιοχή, διερευνάται σε συνάρτηση με τις διεργασίες διάβρωσης και απόθεσης των ιζημάτων, με σκοπό την ανάπτυξη ενός κατανοητού, ρεαλιστικού μοντέλου. Η συνεχής δραστηριότητα των ρηγμάτων, τα υψηλά επίπεδα καταγεγραμμένης σεισμικότητας καθώς και η έντονη διάβρωση (η οποία εκφράζεται συχνά στην περιοχή υπό μορφή κατολισθητικών φαινομένων τόσο στο χερσαίο όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο), υποδεικνύουν ένα ενεργό και ιδιαίτερα ενδιαφέρον γεωδυναμικό περιβάλλον στις ΒΔ ακτές της Πελοποννήσου. Η κύρια ενεργή τεκτονική δομή της περιοχής, η ρηξιγενής ζώνη του Ψαθόπυργου, μελετήθηκε ως προς τα δεσπόζοντα μορφολογικά της χαρακτηριστικά και σε συνδυασμό με άλλες βασικές παραμέτρους, όπως τη στρωματογραφία, το υδρογραφικό δίκτυο, την ανάλυση των μορφολογικών κλίσεων καθώς και την ποσοτική εκτίμηση της διάβρωσης στην περιοχή. Από την ερμηνεία των προαναφερθέντων, προκύπτει ότι το ΝΔ περιθώριο του Κορινθιακού Κόλπου, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα γεωδυναμικό περιβάλλον υψηλής ενέργειας, το οποίο συνδέεται άρρηκτα με την έντονη επίδραση της ενεργού τεκτονικής. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, η οποία στοχεύει σε πληρέστερη γνώση της γεωδυναμικής εξέλιξης στο ΝΔ Κορινθιακό Κόλπο, τονίζεται ότι αξιολογήθηκαν βαθυμετρικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, τα οποία σε συνδυασμό με διαθέσιμα τοπογραφικά δεδομένα (Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου) συνέβαλαν στη λεπτομερή και αποτύπωση των μορφολογικών συνθηκών, τόσο στο χερσαίο όσο και στο υποθαλάσσιο περιβάλλον.

Σίμου Ε., και συν.: Γεωμορφολογικές ενδείξεις ενεργού τεκτονικής στην περιοχή του ΝΔ κορινθιακού κόλπου, συνδυασμός χερσαίων και υποθαλάσσιων δεδομένων.



Εικόνα 1. Digital Elevation Model (DEM), 3D Elevation Model and 3D Realistic Model of the combined marine & land surface data, presenting the morphology of the study area. / Μορφολογική αποτύπωση της περιοχής με τη βοήθεια Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (DEM), Τρισδιάστατης απεικόνισης του αναγλύφου και Τρισδιάστατου Ρεαλιστικού Προσομοίωματος της περιοχής, όπως έχει προκύψει από το συνδυασμό δεδομένων του χερσαίου και υποθαλάσσιου χώρου.

Abstract

The geodynamic and geomorphic implications of tectonically active landforms, in combination with the rapid technological advancement (geodetic monitoring, satellite imagery, digital topography, GIS software) may offer valuable information in the understanding of the physical models which are related to surface processes. High levels of extension, which characterize the rift systems, are mainly responsible for the tectonic control on a currently deforming landscape, such as the Gulf of Corinth. Intense neotectonic activity related to large-scale fault structures, analyzed with regard to erosion and sediment transport, can lead to the development of a comprehensible conceptual and quantitative model. The Gulf of Corinth, the northern and most active part of the present-day Corinth Rift, constitutes a natural laboratory for morphotectonic studies as it has been long identified as a site of major importance due to the continuous tectonic deformation. Enduring fault activity, high levels of concentrated seismicity and extensive erosion (often expressed through instabilities and landslide occurrence both in the marine and the terrestrial environment) indicate the active geodynamic regime evolving towards the coastal zone of NW Peloponnese. High-resolution multibeam bathymetry in combination with the available land surface data have contributed to accurate submarine and subaerial morphological mapping, revealing a wealth of information with regard to the geodynamic evolution and the tectonic insight.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Beckers, A., Beck, C., Hubert-Ferrari, A., Tripsanas, E., Crouzet, C., Sakellariou, D., D, Papatheodorou, G., Batist, M., 2016. Influence of bottom currents on the sedimentary processes at the western tip of the Gulf of Corinth, Greece. Marine Geology 378, 312-332.

Beckers, A., Hubert-Ferrari, A., Beck, C., Bodeux, S., Tripsanas, E., Sakellariou, D., De Batist, M.,(2015. Active faulting at the western tip of the Gulf of Corinth, Greece, from high-resolution seismic data. Mar. Geol., 360, 55–69.

Ford, M., Rohais, S., Williams, E. A., Bourlange, S., Jousselin, D., Backert, N., et al. (2012). Tectono-sedimentary evolution of the western Corinth rift (Central Greece). Basin Research, 1–23.

Leeder, M. R., Jackson, J. A. (1993). The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins, with examples from western United States and central Greece. Basin Research, 5, 79-102.

Nomikou, P., Alexandri M., Lykousis V., Sakellariou D., Ballas D. (2011). Swath Bathymetry and morphological slope analysis of the Corinth Gulf. 2nd INQUA-IGCP 567 Int. Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering. Corinth 19-24 September 2011, p. 155-158.

THE INTERNATIONAL CONGRESSES OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE AND THEIR ROLE ON THE BASIC GEOLOGICAL AND TECTONIC RESEARCH THE LAST 35-YEARS*

M. Tranos[1], Em. Vassilakis[2] and S. Tzigkalidou[1]

[1] Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece
[2] Section of Geography and Climatology, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Η βασική γεωλογική και τεκτονική έρευνα στον Ελληνικό χώρο αντικατοπτρίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα διεθνή συνέδρια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας που από τις αρχές της δεκαετίας του 90 έχουν παγιωθεί να πραγματοποιούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (2-4 έτη).

Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει μια στατιστική έρευνα που να δείχνει το πως και με ποιο τρόπο τα διεθνή αυτά συνέδρια έχουν προάγει τη βασική γεωλογική και τεκτονική-νεοτεκτονική έρευνα τόσο σε επίπεδο φορέων όσο και μεμονωμένα όσον αφορά τους επιστήμονες ως μονάδες. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε μια στατιστική ανάλυση από τις αρχές της δεκαετίας του 90, η οποία αφορά 10 συνέδρια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας (Σχ. 1) σε εργασίες με θεματολογία τη Γεωλογία και την Τεκτονική-Νεοτεκτονική. Ειδικότερα, η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει ένα σύνολο 180 εργασιών που πραγματοποιήθηκαν από 326 επιστήμονες, οι 198 από τους οποίους είναι Έλληνες.

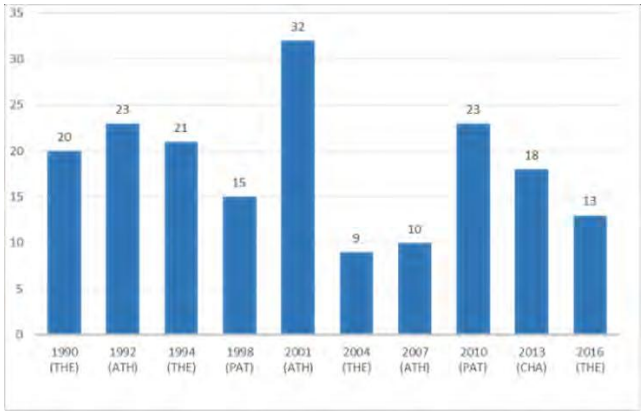
Η ανάλυση αυτή δείχνει ότι η συμβολή των δύο μεγάλων πανεπιστημίων Αθήνας και Θεσσαλονίκης είναι ιδιαίτερα σημαντική, όχι μόνο λόγω του μεγάλου αριθμού ανακοινώσεων, αλλά και λόγω του μεγάλου όγκου των συμμετεχόντων που προέρχονται από τα δύο αυτά πανεπιστήμια. Ενδιαφέρουσα είναι και η συμβολή των ιδρυμάτων του εξωτερικού, αφού οι συμμετέχοντες του εξωτερικού υπερβαίνουν το 25% του συνολικού αριθμού των συμμετοχών. Μάλιστα, με αρκετούς αναγνωρισμένους επιστήμονες του χώρου να ανακοινώνουν τα αποτελέσματα των ερευνών τους σε συνέδρια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.

Η δεκαετία του 90 συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό εργασιών, ενώ η δεκαετία 2000-2010 εμφανίζει την μικρότερο αριθμό εργασιών, με την δεκαετία αυτή να εμφανίζει την μεγαλύτερη αντίθεση αφού παρουσιάζει το μεγαλύτερο αριθμό εργασιών (συνέδριο 2001), και το μικρότερο αριθμό εργασιών (συνέδριο 2004) (Σχ. 1). Το θετικό αποτέλεσμα για το συνέδριο του 2001 αποδίδεται στην δυναμική που είχε αναπτύξει η Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία κατά τη δεκαετία του 90, ενώ το αρνητικό αποτέλεσμα για το συνέδριο του 2004 στην συνδιοργάνωση του με το 5° Διεθνές Συνέδριο της Ανατολικής Μεσογείου.

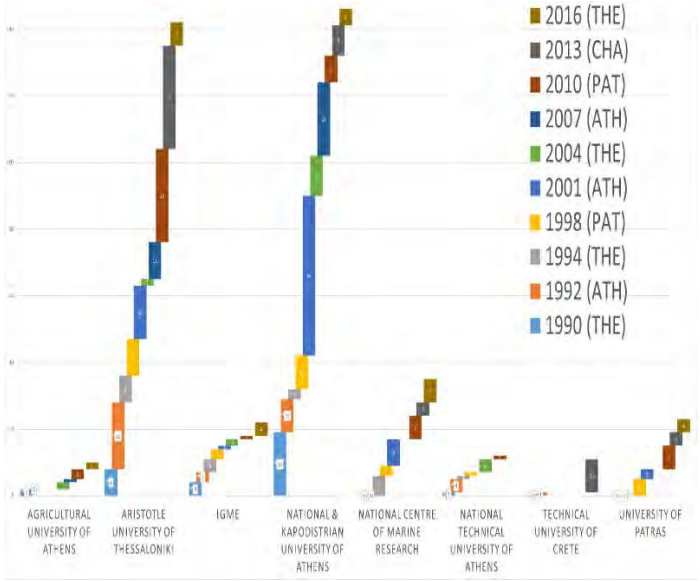
Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο βασικός φορέας της γεωλογικής έρευνας, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), εμφανίζει μια σημαντική πτώση στην ερευνητική δραστηριότητα με το πέρασμα του χρόνου τόσο σε αριθμό εργασιών όσο και συμμετεχόντων (Σχ. 2). Επίσης αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι από τους 21 συνολικά ελληνικούς φορείς, η ερευνητική παρουσία τους σε σύγκριση με αυτήν των δύο πανεπιστημίων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης είναι σημαντικά υποδεέστερη. Η υπεροχή των πανεπιστημίων Αθήνας και Θεσσαλονίκης σε σχέση με τους υπόλοιπους φορείς, πέρα από την εξειδίκευση της ερευνητικής δραστηριότητας που παρουσιάζει ο κάθε φορέας, φαίνεται να σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό και με τον τόπο τέλεσης του εκάστοτε συνεδρίου καθώς και τη διάρθρωση της οργανωτικής επιτροπής. Το γεγονός αυτό δείχνει μάλλον τον καταλυτικό ρόλο των προσώπων στη διαμόρφωση αυτής της εικόνας, αλλά και τον μικρό αριθμό των επιστημών που σταθερά ασχολούνται με τη

* Τρανός Μ., και συν.: Τα διεθνή συνέδρια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας και ο ρόλος τους στη βασική γεωλογική και τεκτονική έρευνα την τελευταία 35-ετία

γεωλογική έρευνα στον Ελληνικό χώρο, αφού από τους 198 Έλληνες συμμετέχοντες, μόλις 6 έχουν περισσότερες από 10 συμμετοχές σε εργασίες ο καθένας, και μόλις 12 έχουν 5-10 συμμετοχές σε εργασίες.



Εικόνα 1. Οι εργασίες στη θεματολογία της Γεωλογίας και Τεκτονικής-Νεοτεκτονικής στα διεθνή συνέδρια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τα τελευταία 35-έτη.



Εικόνα 2. Η κατανομή της παρουσίας των ελληνικών φορέων με περισσότερες από 10 συμμετοχές στα διεθνή συνέδρια της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τα τελευταία 35 έτη.

Η στατιστική αυτή ανάλυση εξετάζει την ποσότητα και όχι την ποιότητα των εργασιών και προτείνεται αυτή η έρευνα και τα αποτελέσματά της να αξιοποιηθούν από την Επιτροπή Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας έτσι ώστε να προσδιοριστεί στην κοινωνία με μεγαλύτερη σαφήνεια ο ρόλος τόσο των φορέων όσο και αυτής καθ' αυτής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.

Abstract

The basic geological and tectonic research in the Hellenic territory is mainly reflected by the international congresses carried out by the Greek Geological Society since the decade of 90. However, no any statistical analysis has been made so that to better evaluate how these congresses reflect, and simultaneously show the progress of this research. For this reason, a statistical analysis has been carried out for ca. the last 35 years covering 10 EGE congresses where 184 papers have been published by 326 geoscientists with 198 out of them to belong to Greek organizations. The analysis showed that two main organizations, the Athens University and the Aristotle University of Thessaloniki predominate in the basic geological research. On the contrary, the IGME which is considered to be the main Greek operator of the geological research shows dramatic negative results since the decade of 90. In addition, the organizing committee and the place of the congresses seems to play a significant role on the impact of each congress. Another critical issue is the very small number of the Greek scientists that constantly contribute with their presence and works to all these congresses. In particular, from the 198 Greek geoscientists, no more than 6 exceed 10 participations in papers each, and only 12 have from 5 to 10 participations in papers.

THE SEISMOGENIC FAULT OF THE 2016 IOANNINA MODERATE-SIZE EARTHQUAKE SEQUENCE (EPIRUS, WESTERN GREECE)

M. Tranos and Sp. Pavlides

Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece (tranos@geo.auth.gr, pavlides@geo.auth.gr)

Περίληψη

Ο σεισμός της 15ης Οκτωβρίου, Mw=5.3 και η μετασεισμική ακολουθία του εντάσσονται σε ένα συμπιεστικό γεωτεκτονικό περιβάλλον, που διατρέχει τον ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης ορεογραφικό άξονα της Πίνδου, από τη Νότια Αλβανία μέχρι και το ύψος του Αμβρακικού κόλπου στη Δυτική Ελλάδα. Ο χώρος αυτός αποτελεί ένα σεισμικά ενεργό περιβάλλον με ιστορικό ισχυρών σεισμών. Ο πρόσφατος σεισμός συνδέεται με γνωστή ζώνη ρηγμάτων όπως έχει καταγραφεί και προσδιοριστεί στη Βάση Δεδομένων Σεισμογενετικών Πηγών του Ελλαδικού χώρου GreDaSS (Greek Database of Seismogenic Sources, www.gredass.unife.it). Οι δημοσιευμένοι μηχανισμοί γένεσης του κύριου σεισμού προσδιορίζουν σμικρυντικά ρήγματα με πλαγιοανάστροφη κίνηση (όπως π.χ φαίνεται στον παρακάτω πίνακα):

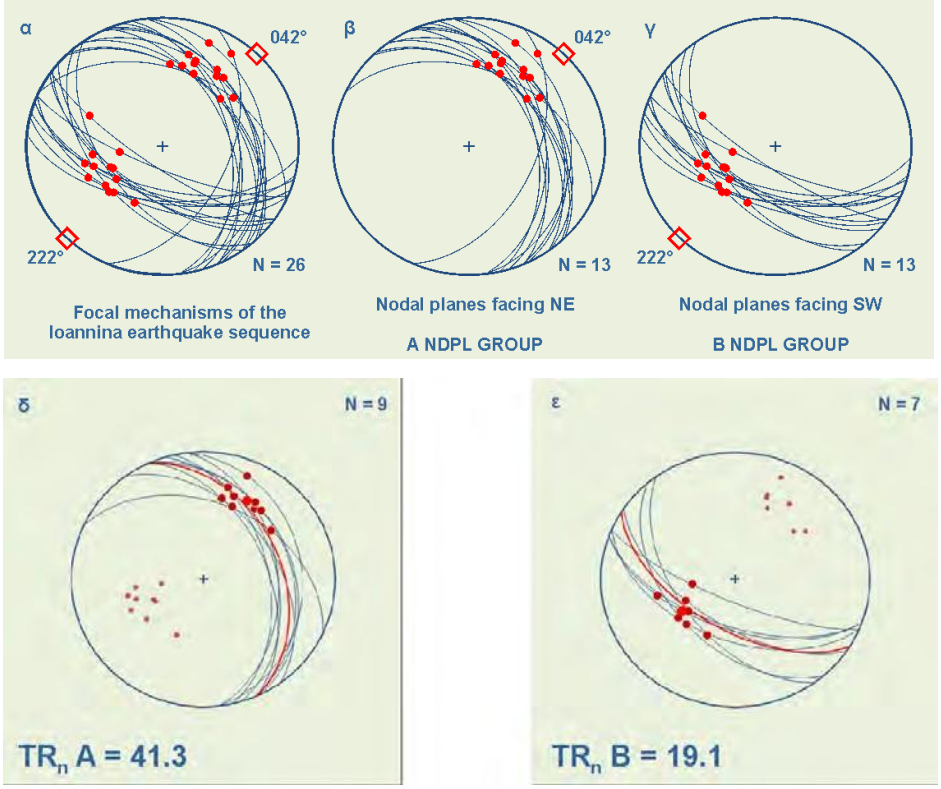
A/A	Source	Lat N	Long E	Depth (km)	Mw	Strike 1	dip 1	rake 1	strike 2	dip 2	rake 2
1	NOA	39.7893	20.7055	14	5.3	355	27	150	112	77	66
2	USGS	39.844	20.626	21	5.3	314	33	116	104	61	74

Όμως ο προσδιορισμός του σεισμογενετικού ρήγματος, δεν είναι δυνατός με υπαίθριες παρατηρήσεις ούτε οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης του σεισμού είναι μονοσήμαντες έτσι ώστε να προσδιορίζουν το κύριο (σεισμογενετικό) από το βοηθητικό επίπεδο.

Αν και δεν υφίσταται μια διεθνώς αναγνωρισμένη σχέση μεταξύ του κύριου σεισμικού γεγονότος και της κατανομής των μετασεισμών, σε όλες τις περιπτώσεις, οι μετασεισμοί εμφανίζονται σε επιφάνειες αδυναμίας, και σε περιοχές με αυξημένη μετα-σεισμική εντατική κατάσταση, εξαιτίας του κύριου σεισμού, με τους περισσότερους μετασεισμούς να εμφανίζονται πάνω ή κοντά στο ρήγμα, και να σχετίζονται άμεσα με αυτό (Das and Henry, 2003). Στην εργασία αυτή εφαρμόζεται η μέθοδος TRM_{FCM} (Tranos, 2014) για τον προσδιορισμό του σεισμογενετικού ρήγματος που ενεργοποιήθηκε με το σεισμό (παράταξη και διεύθυνση κλίσης) αφού κανένα επιφανειακό ίχνος δεν βοηθά στον προσδιορισμό αυτού. Αυτό είναι σημαντικό για τον καθορισμό του σεισμογενετικού τμήματος του ρήγματος (seismogenic segment) και της εκτίμησης της σύνδεσης του με ένα μεγαλύτερο ρήγμα ή ζώνης δυναμικότητας ανάλογης των ιστορικών σεισμών της περιοχής και επακόλουθα για την σεισμική επικινδυνότητα στην ευρύτερη περιοχή.

Η βασική ιδέα της μεθόδου TRM_{FCM} (που είναι μια τροποποίηση της μεθόδου TRM (Tranos, 2015)) είναι: 'αν οι περισσότεροι από τους μηχανισμούς γένεσης μιας ακολουθίας αντανακλούν ρήξεις άμεσα συνδεόμενες με το κύριο σεισμογενετικό ρήγμα της σεισμικής ακολουθίας, τότε τα κύρια (σεισμικά) επίπεδα αυτών θα πρέπει να εμφανίζουν ισχυρότερη γεωμετρική, κινηματική και δυναμική συμβατότητα μεταξύ τους από ότι τα βοηθητικά επίπεδα'. Η TRMFCM μέθοδος εξετάζει: (1) τη γεωμετρική, κινηματική και δυναμική συμβατότητα των δύο αντίθετων επιπέδων του μηχανισμού γένεσης ως προς το εντατικό πεδίο (όπως αυτό ορίζεται από το μέγιστο ή ελάχιστο κύριο άξονα τάσης και το λόγο των κύριων αξόνων τάσης) και (2) την ευκολία διάρρηξης των δύο αντίθετων επιπέδων του μηχανισμού γένεσης λαμβάνοντας υπόψη την προτίμηση ολίσθησης (slip tendency) όπως αυτή προτάθηκε από τον Morris et al. (1996). Η μέθοδος ποσοτικοποιεί παραμέτρους σχετικές με τη ρήξη όπως την παράταξη, τη γωνία κλίσης, το διάνυσμα ολίσθησης και το λόγο διατμητικής/ορθής τάσης σε σχέση με το εντατικό πεδίο, και προσδιορίζει για τα δύο αντίθετα σε προσανατολισμό επίπεδα των μηχανισμών γένεσης που ομαδοποιούνται σε δύο

ομάδες με βάση τον προσανατολισμό τους σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα τάσης (σ_1 ή σ_3), δύο αντίστοιχους αριθμούς TRn, με το μεγαλύτερο να προσδιορίζει το σεισμογενετικό ρήγμα. Η εφαρμογή της μεθόδου στους 13 μηχανισμούς γένεσης της σεισμικής ακολουθίας (όπως ευγενικά παραχωρήθηκαν από τον ΝΟΑ, με μεγέθη από Mw = 3.9 μέχρι Mw = 5.3) προσδιορίζει με μεγάλη υπεροχή ως σεισμογενετικό το δεξιόστροφο πλαγιοανάστροφο ρήγμα παράταξης N336°, κλίσης 40° προς τα ΑΒΑ, και με διάνυσμα ολίσθησης (rake: 121°). Συγκεκριμένα ο TRnA = 41.3 των επιπέδων των μηχανισμών που κλίνουν προς τα ΑΒΑ είναι πολύ μεγαλύτερος του TRnB = 19.1 των επιπέδων που κλίνουν προς τα ΝΔ (Σχ. 1).



Εικόνα 1. Στερεογραφική προβολή (ισοεμβαδική, νότιο ημισφαίριο). (α) Οι μηχανισμοί γένεσης της σεισμικής ακολουθίας, (β)-(γ) οι δύο αντίθετες σε κλίση Α, Β ομάδες πιθανών σεισμικών επιπέδων, (δ)-(ε) τα επίπεδα της Α και Β ομάδας αντίστοιχα που πιθανά συνδέονται με το σεισμογενετικό ρήγμα, με την υπεροχή της Α ομάδας με TRn = 41.3, έναντι της Β ομάδας με TRn = 19.1.

Η λύση αυτή είναι συμβατή με τη ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση που παρουσιάζει η κατανομή των επικέντρων των σεισμών της σεισμικής ακολουθίας και ταιριάζει περισσότερο με τη λύση του NP1 των μηχανισμών USGS, INVG και HARV, καθώς και με το NP2 του GFZ. Το γεγονός ότι το σεισμογενετικό επίπεδο έχει ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση και κλίνει προς τα ΑΒΑ καθορίζει διαφορετικές παραμέτρους όσον αφορά τη σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή σε σχέση με το αντίθετο ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης επίπεδο.

Abstract

The recent earthquake of 15th October 2016 with Mw = 5.3 that occurred NW of Ioannina in Epirus (Western Greece) was the mainshock of a moderate-size earthquake sequence. The area of Epirus is seismically active with several earthquake events that are related with the collision between the Apulia (Adria) and Eurasia plate. Many large seismically active faults have been recorded and determined in the GReDaSS (Greek Database of Seismogenic Sources, www.gredass.unite.it), but this earthquake sequence leaved no ruptures or other traces on the Earth's surface. For this reason, the recently proposed method TRM_{FCM} is applied on 13 focal mechanisms of the earthquake sequence (provided by NOA) with the goal to improve our knowledge about this mainshock, and thus to better evaluate the seismic hazard of the region. The TRMFCM identifies the seismogenic fault by taking into account critical parameters during the rupture.

The application of the TRMFCM identifies as a seismogenic fault of the Ioannina earthquake sequence, the fault striking N336°, dipping towards ENE with 40°, and containing slip vector with 121° rake. The solution fits well with the NNW-SSE trending spatial distribution of the epicenters of the sequence, and the NP1 of the INVG, USGS and HARV, as well as the NP2 of GFZ.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Das S., Henry C., 2003. Spatial relation between main earthquake slip and its aftershock distribution. Rev. Geophys., 41, 3, 1–16, doi.org/10.1029/2002RG000119.

Morris A.P., Ferrill D.A., Henderson D.B., 1996. Slip tendency and fault reactivation. Geology, 24, 275–278.

Tranos M.D., 2014. TR method: a practical tool to analyze focal mechanisms and identify the 'real' seismogenic fault of an extensional or compressional shallow earthquake sequence. Tectonophysics, 633: 77-97, doi: 10.1016/j.tecto.2014.06.027.

Tranos M.D., 2015. TR method (TRM): A separation and stress inversion method for heterogeneous fault-slip data driven by Andersonian extensional and compressional stress regimes. Journal of Structural Geology, 79, 57-74, doi:10.1016/j.jsg.2015.07.006

OFFSHORE FAULTING IN THE AEGEAN SEA AND IMPLICATIONS FOR FAULT KINEMATICS AND PLIO-QUATERNARY DEFORMATION*

K. Tsampouraki – Kraounaki and D. Sakellariou

Institute of Oceanography, Hellenic Centre for Marine Research, 19013 Anavyssos, Attiki, Greece

Περίληψη

Εισαγωγή

Η ενεργός τεκτονική, η παραμόρφωση και οι κινηματικές διεργασίες που διέπουν το Αιγαίο, έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημονικών εργασιών τα τελευταία 40 χρόνια (McKenzie, 1972, 1978; Le Pichon and Angelier, 1979, 1981; McKenzie and Jackson, 1983; Taymaz et al., 1991; Le Pichon et al., 1995; Armijo et al., 1996; Davies et al., 1997: Clarke et al., 1998; McClusky et al., 2000; Goldsworthy et al., 2002; Nyst & Thatcher, 2004). Οι περισσότερες εξ αυτών στηρίχθηκαν στη ανάλυση του διαθέσιμου μορφολογικού ανάγλυφου και στην ερμηνεία σεισμολογικών και GPS δεδομένων. Η πρώτη συστηματική χαρτογράφηση των υποθαλάσσιων ρηγμάτων με βάση την ερμηνεία σεισμικών τομών έγινε από τους Mascle και Martin (1990), οι οποίοι πρότειναν πως η παραμόρφωση του Αιγαίου συνδέεται κυρίως με ζώνες οριζόντιας ολίσθησης ΝΔ-ΒΑ διεύθυνσης. Λαμβάνοντας υπόψιν τις μέχρι τώρα υπάρχουσες υποθέσεις για το γεωλογικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή του Αιγαίου, τα βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με υποθαλάσσια ρήγματα στο Αιγαίο και με βάση την ερμηνεία και την επεξεργασία παλαιότερων και πρόσφατων σεισμικών τομών και δεδομένων πολυδιαυλικής βυθομετρίας, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι α) η χαρτογράφηση των ενεργών υποθαλάσσιων ρηγμάτων και λεκανών ιζηματογένεσης του Πλειο-Τεταρτογενούς και β) η σύνθεση των αποτελεσμάτων και επεξεργασία ενός γεωδυναμικού μοντέλου που θα εξηγεί τις βασικές κινηματικές διεργασίες και τους μηχανισμούς παραμόρφωσης που οδήγησαν στην σημερινή γεωτεκτονική και μορφολογική δομή του Αιγαίου.

Μεθοδολογία

Για τη χαρτογράφηση των υποθαλάσσιων ρηγμάτων και των κυρίαρχων γεωλογικών και γεωμορφολογικών δομών στην περιοχή του Αιγαίου, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων η οποία περιείχε όλα τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από τις προυπάρχουσες ερευνητικές εργασίες καθώς επίσης και νεότερα σεισμικά και βαθυμετρικά δεδομένα όπως έχουν προκύψει από τις τελευταίους ερευνητικούς πλόες. Οι βαθυμετρικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν, δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος EMODNET BATHYMETRY (www.emodnet.eu/bathymetry) με ανάλυση 250μ., περιλαμβάνουν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα πολυδιαυλικής βυθομετρίας που συλλέχθηκαν κυρίως από το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών και βυθομετρία GEBCO για τις περιοχές για τις οποίες υπάρχει έλλειψη δεδομένων πολυδιαυλικής βυθομετρίας.

Για την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των βαθυμετρικών δεδομένων δημιουργήθηκε χάρτης ανάλυσης κλίσεων προκειμένου να καθοριστούν οι περιοχές έντονων, απότομων κλίσεων και να απεικονιστεί καλύτερα η χωροταξική κατανομή τους. Περιοχές με απότομες αλλαγές του αναγλύφου συνήθως συνδέονται με περιοχές δράσης ενεργών ρηγμάτων με έντονη κατακόρυφη μετατόπιση.

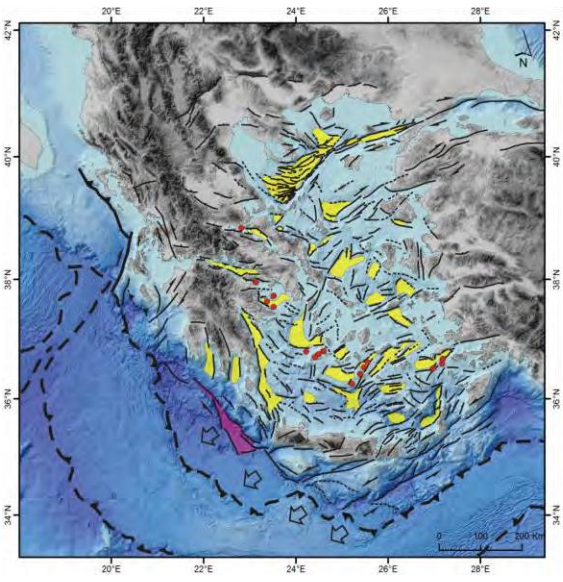
Η επανεπεξεργασία παλιότερων και νεότερων σεισμικών προφίλ σε συνδυασμό με την αξιοποίηση των νεότερων βαθυμετρικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης βελτίωσε σημαντικά την προσπάθεια καταγραφής των υποθαλάσσιων ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή του Αιγαίου.

*Τσαμπουράκη-Κραουνάκη, Κ. και συν.: Χαρτογράφηση υποθαλάσσιων ρηγμάτων και συμπεράσματα για την κινηματική και Πλειο-Τεταρτογενή παραμόρφωση στο Αιγαίο Πέλαγος.

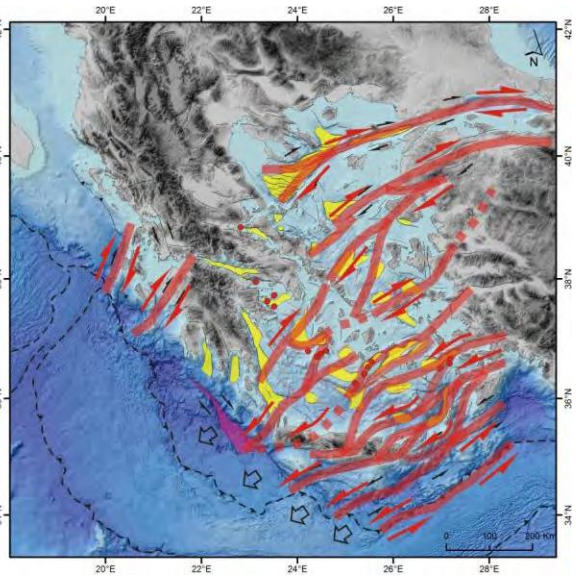
Αποτελέσματα - Συζήτηση

Ο τεκτονικός χάρτης της Εικ. 1 περιλαμβάνει τα κύρια ενεργά υποθαλάσσια ρήγματα, που χαρτογραφήθηκαν έπειτα από την ανάλυση και την ερμηνεία των διαθέσιμων σεισμικών προφίλ και βυθομετρικών δεδομένων, καθώς επίσης και τις κύριες ιζηματογενείς λεκάνες του Πλειο-Τεταρτογενούς οι οποίες υποδηλώνουν τεκτονική βύθιση. Στο συγκεκριμένο χάρτη δεν περιλαμβάνονται ρήγματα τα οποία έχουν καταγραφεί από σεισμολογικές μεθόδους. Λόγω της έλλειψης εκτενέστερων βαθυμετρικών στοιχείων και πληροφοριών για κάποιες περιοχές του Αιγαίου, ο χάρτης αυτός αποτελεί μία πρώτη προσέγγιση για τη χαρτογράφηση όλων των ενεργών υποθαλάσσιων ρηγμάτων. Η συνέχεια της προσπάθειας συλλογής νεότερων στοιχείων και πληροφοριών κρίνεται απαραίτητη για την ευρύτερη χωρική κάλυψη του Αιγαίου και για τη δημιουργία μιας πλήρους βάσης δεδομένων.

Η μορφολογία του Αιγαίου, η χωρική κατανομή των Πλειο-Τεταρτογενών λεκανών και το δίκτυο των υποθαλάσσιων ρηγμάτων όπως παρουσιάζονται στην Εικ. 1, δύσκολα μπορούν να εξηγηθούν με την λειτουργία ζωνών εκτεταμένου εφελκυσμού παράλληλων στο τόξο. Η φαινομενικά χαοτική, χωρική κατανομή των πολλαπλών, μεμονωμένων περιοχών βύθισης και ανύψωσης μπορεί να εξηγηθεί με ένα σύνθετο μοντέλο ζωνών δεξιόστροφης και αριστερόστροφης οριζόντιας διάτμησης-ολίσθησης διατεταγμένων σε διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ μεταξύ του δεξιόστροφου Ρήγματος Βόρειας Ανατολίας και του αριστερόστροφου, ανατολικού τμήματος του Ελληνικού Τόξου (Εικ. 2). Η χωρική διαμόρφωση και η κινηματική των επάλληλων ζωνών ορίζοντιας ολίσθησης δημιουργεί, σε τοπική κλίμακα, περιβάλλοντα πλαγιοεφελκυστικής και πλαγιοσυμπιεστικής παραμόρφωσης και προκαλεί τοπικά τεκτονική βύθιση (λεκάνες) και τεκτονική ανύψωση. Τα ρήγματα της Εικ. 1, με τον ιδιαίτερο κινηματικό χαρακτήρα το κάθε ένα (κανονικό, ανάστροφο, πλάγιας ή οριζόντιας ολίσθησης), συμμετέχουν στην παραμόρφωση που προκαλείται από τις ζώνες οριζόντιας ολίσθησης με την μορφή των "Riedel shears".



Εικόνα 1. Χάρτης υποθαλάσσιων ρηγμάτων και κέντρων ιζηματογένεσης στο Πλειο-Τεταρτογενές.



Εικόνα 2. Χάρτης ζωνών οριζόντιας διάτμησης στο Αιγαίο.

Abstract

Reinterpretation of old analog seismic profiles from the Aegean region in combination with the analysis of new acquired seismic profiles and swath bathymetry data, indicates that srike-slip faulting has played a major role at the deformation of the Aegean. The aim of our research is to understand how active tectonics control the area and to create an updated tectonic map with the offshore active faults that dominate the area.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Armijo et al., 1996. Geophys. J. Int., 126, 11 – 53.
Clarke et al., 1998. Geophys. J. Int., 135, 195– 214.
Davies et al., 1997. J. Geophys. Res., 102, 24,571– 24,588.
Goldsworthy et al., 2002. Geophys. J. Int., 148, 596– 618.
Le Pichon & Angelier, 1979. Tectonophysics, 60, 1 –42.
Le Pichon & Angelier, 1981. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A, 300, 357– 372.
Le Pichon, 1995. J. Geophys. Res., 100, 12,675– 12,690.
Mascle & Martin, 1990. Marine Geology 94, 271-299.
McClusky et al., 2000. J. Geophys. Res., 105, 5695–5719.
McKenzie, 1972. Geophys. J. R. Astron. Soc, 30, 109– 185.
McKenzie, 1978. Geophys. J. R. Astron. Soc., 55, 217–252.
McKenzie & Jackson, 1983. Earth & Planet. Sci. Lett., 65, 182–202.
Nyst & Thatcher, 2004. J. Geoph. Res., 109, B11406, doi:10.1029/2003JB002830, 2004
Sachpazi et al, 2015. Geoph. Res. Letters, DOI 10.1002/2015GL066818
Sachpazi et al, 2016. Geoph. Res. Letters, DOI 10.1002/2016GL070447
Taymaz, Jackson & McKenzie, 1991. Geophys. J. Int., 106, 433–490.

EVIDENCE OF DEEP MAGMATIC ACTIVITY IN THE BROADER AREA OF THE ARGOLID, GREECE, AND ITS RELATIONSHIP TO REGIONAL TECTONICS*

A. Tzanis[1], A. Efstathiou[1], S. Chailas[1] and M. Stamatakis[2]

[1] Section of Geophysics and Geothermy, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece (atzanis@geol.uoa.gr)
[2] Section of Economic Geology and Geochemistry, Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Panepistimiopolis 15784 Zographou, Athens, Greece

Περίληψη

Η εργασία αυτή παρουσιάζει νέες ενδείξεις για την ύπαρξη πρόσφατου, τεκτονικά ελεγχόμενου πλουτωνικού μαγματισμού σχετιζόμενου με την Νεογενή ηφαιστειακή δραστηριότητα που παρατηρείται σ' εκείνη την ευρεία έκταση της Βορειοανατολικής Πελοποννήσου, η οποία διασχίζεται από το Ελληνικό Ηφαιστειακό Τόξο. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει την Αργολίδα, τους Αργολικό και Σαρωνικό κόλπους και την ανατολική Κορινθία περιλαμβανομένης και της Κρομμυωνίας στο δυτικό ήμισυ της χερσονήσου της Μεγαρίδας. Η μελέτη μας βασίζεται σε δύο αρκετά διαφορετικά, αλλά τελικά συγκλίνοντα σύνολα δεδομένων: σεισμοτεκτονικά και αερομαγνητικά. Πέραν τούτων, επικουρείται και συμπληρώνεται από μαγνητοτελλουρικά και βαρυτομετρικά στοιχεία.

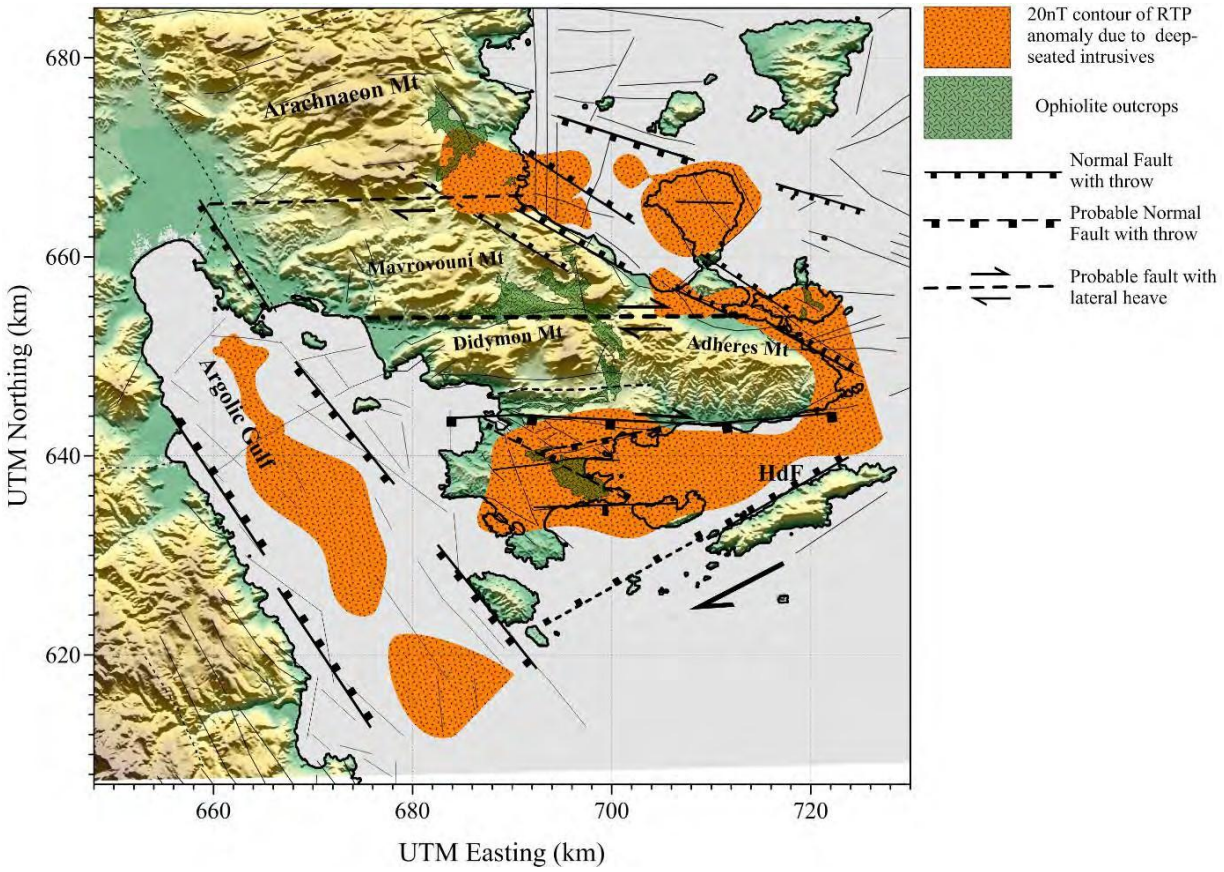
Η σεισμοτεκτονική μας ανάλυση επιχειρεί να αξιολογήσει το σύγχρονο *λιθοσφαιρικό* πεδίο τάσεων με αντιστροφή υψηλής ποιότητας μηχανισμών γένεσης, η οποία βασίστηκε στην μέθοδο των Hardebeck και Michael (2006), όπως ανασχεδιάστηκε από τους Martínez-Garzón et al. (2014). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το εντατικό πεδίο είναι εφελκυστικό και NE-SW προσανατολισμένο, με το άξονα σ_1 να κατευθύνεται N64^o και να βυθίζεται κατά 77^o και το άξονα σ_3 να κατευθύνεται N210^o και να βυθίζεται κατά 10^o. Αυτό παράγει WNW-ESE και NW-SE κανονικά ρήγματα, με τα πρώτα να κυριαρχούν στον Σαρωνικό και τα δεύτερα στον Αργολικό κόλπο. Επί πλέον, τα αποτελέσματα προβλέπουν την ύπαρξη ρηγμάτων διεύθυνσης E-W and N330^o με μη-αμελητέα δεξιόστροφη και αριστερόστροφη ολίσθηση αντίστοιχα, τα οποία είναι συμβατά με τις διευθύνσεις R και R' της θεωρίας διατμητικής παραμόρφωσης του Riedel και εξηγούν αρκετούς πλαγιολισθητικούς μηχανισμούς γένεσης, ευθυγραμμίσεις σεισμικών επικέντρων και σημαντικά μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Στην εργασία επίσης παρατίθεται ποσοτική ανάλυση των αερομαγνητικών ανωμαλιών που έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή μελέτης (βλ. Chailas et al., 2010), βασισμένη στον 3D αλγόριθμο αντιστροφής των Li and Oldenburg (1996, 1998). Η ανάλυση αυτή ταυτοποίησε ένα εκτεταμένο σύμπλεγμα επιμήκων μαγνητισμένων πετρολογικών σχηματισμών, θαμμένων σε βάθη μεγαλύτερα των 3km, οι οποίοι, δεδομένης του γεωλογικού και τεκτονικού καθεστώτος της περιοχής μπορούν μόνο να εξηγηθούν ως ασβεσταλκαλικές διεισδύσεις (πλουτωνίτες). Στην βόρειο-ανατολική Κορινθία και στην Κρομμυωνία, αυτός ο τύπος μαγματικής δραστηριότητας δεν είναι εντυπωσιακός, περιορίζεται κυρίως στον Κόλπο των Μεγάρων μέχρι το Σουσάκι και είναι συμβατός με την χαμηλής έντασης – μικρής κλίμακας Τεταρτογενή δακιτική ηφαιστειότητα της περιοχής. Αντιθέτως, μεγάλης κλίμακας επιμήκεις μαγνητικές δομές διεύθυνσης E-W και N330^o ταυτοποιήθηκαν κάτω και γύρω από την Αργολίδα. Αυτές είναι γενικά συμπίπτουν με τους άξονες εφελκυστικών τεκτονικών δομών του αυτού προσανατολισμού, (τάφροι και μείζονα ρήγματα, βλ. Εικόνα 1), ερμηνεύονται δε ως ασβεσταλκαλικοί πλουτωνίτες των οποίων η τοποθέτηση καθορίστηκε από την περιφερειακή τεκτονική δραστηριότητα (συν-τεκτονικός/syn-rift μαγματισμός, βλ. Εικόνα 1).

Τζάνης Α., και συν.: Ενδείξεις συν-τεκτονικής πλουτωνικής μαγματικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή της Αργολίδας.

Η ποσοτική ανάλυση των αερομαγνητικών δεδομένων επίσης ταυτοποίησε μεγάλο αριθμό ρηχών και επιφανειακών μαγνητικών δομών σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, θαμμένων σε βάθη μικρότερα των 2km). Αυτές παράγονται από ένα σύμπλεγμα κατανεμημένων παρα-επιφανειακών σχηματισμών που απαρτίζονται από (υπο)κατακόρυφα αναπτυσσόμενους, θαμμένους ή εμφανείς σχηματισμούς Τεταρτογενών ηφαιστειακών, καθώς και από πλευρικά αναπτυσσόμενες εμφανίσεις εξαλλοιωμένων υπερβασικών σχηματισμών (λέπια τεκτονικού mélange και διαμελισμένα οφιολιθικά συμπλέγματα).

Η κοινή ανάλυση των σεισμοτεκτονικών και αερομαγνητικών δεδομένων επιτρέπει την διαμόρφωση ενός διερευνητικού προτύπου τεκτονικής παραμόρφωσης για την περιοχής της Αργολικής Χερσονήσου. Σύμφωνα με αυτό, η διαφορική παραμόρφωση που αναπτύσσεται μεταξύ των ανόμοιων εφελκυστικών τάσεων (ρυθμών και διευθύνσεων) του Αργολικού και Σαρωνικού κόλπων αντισταθμίζεται με την δεξιόστροφη κίνηση τεκτονικών τεμαχών, στα όρια των οποίων λαμβάνουν χώρα μαγματικές διεισδύσεις (βλ. Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Διερευνητικό τεκτονικό μοντέλο της Αργολικής Χερσονήσου. Η πορτοκαλί στικτή διαγράμμιση δηλώνει τις βαθύτερες (> 3km) μαγνητικές πηγές, οι οποίες αποδίδονται σε ασβεσταλκαλικούς πλουτωνίτες.

Abstract

The present analysis reports evidence of recent, tectonically controlled plutonic magmatism related to Neogene volcanism in a broad area of Northeast Peloponnesus (Greece) straddled by the Hellenic Volcanic Arc (Argolid, Argolic and Saronic gulfs, eastern Corinthia). We assess the contemporary crustal stress field based on formal inversion of well-constrained earthquake focal mechanisms (Hardebeck and Michael, 2006; Martínez-Garzón et al., 2014). We conclude that the stress field is principally extensional with the σ_3 axis oriented at N210° and plunging at 10°. This generates WNW-ESE and NW-SE faults, the former being dominant in the Saronic Gulf and the latter in the Argolic. In addition, the analysis predicts E-W and

N330° faults with non-trivial right-lateral and left-lateral heave respectively, which are consistent with the R and R' directions of Riedel shear theory and explain a number of observed earthquake focal mechanisms, earthquake epicentre alignments and morphological lineaments. We also present a quantitative analysis of the aeromagnetic anomalies observed at that area (e.g. Chailas et al., 2010), based on the 3-D inversion algorithm of Li and Oldenburg (1996, 1998). We identify an extensive complex of magnetized rock formations buried at depths greater than 3km which, given the geology of the area can hardly be explained with anything other than calc-alkaline intrusions (plutons). At north-eastern Corinthia (Crommyonia), intrusive activity is unexceptional and consistent with the low-intensity, small-scale Quaternary dacitic volcanism therein. Conversely, large-scale elongate anomalies of E-W and N330° orientation are identified in the Argolid, generally collocated with and delimited by extensional structures (grabens and major faults, see Fig. 1): these are interpreted to comprise calc-alkaline plutons whose placement has been controlled by regional tectonic activity (syn-tectonic and syn-rift magmatism). A large number of shallow and superficial (less than 2km) sources have also been identified throughout the study area; these are generated by a complex of distributed near-surface formations consisting of sub-vertically developing buried or extrusive volcanics, as well as outcropping or shallow-buried ophiolites comprising thin nappes of tectonic mélange and dismembered ophiolitic complexes. The joint analysis of seismotectonic and aeromagnetic data facilitates the formulation of a tentative geotectonic model for the area of the Argolid, in which E-W right-lateral block motion is associated with igneous intrusive activity at block boundaries (see Fig. 1).

Βιβλιογραφικές αναφορές

Chailas S., Tzanis A., Kranis H. and Karmis P., 2010. Compilation of a unified and homogeneous aeromagnetic map of the Greek Mainland. Bull. Geol. Soc. Greece, 43 (4), 1919-1929; available at http://www.geosociety.gr/images/arxeio-teuxwn/GSG_XLIII_4.pdf (last accessed 24 May. 2016).

Hardebeck, J. L., and Michael, A.J., 2006. Damped regional-scale stress inversions: Methodology and examples for southern California and the Coalinga aftershock sequence, J. Geophys. Res. 111, no. B11, B11310; doi: 10.1029/2005JB004144.

Li Y. and Oldenburg D.W., (1996), 3-D inversion of magnetic data: Geophysics, 61, 394-408.

Li Y. and Oldenburg D.W., (1998), 3-D inversion of gravity data: Geophysics, 63, 109-119.

Martínez-Garzón, P., Kwiatek, G, Ickrath, M. and Bohnhoff, M, 2014. MSATSI: A MATLAB Package for Stress Inversion Combining Solid Classic Methodology, a New Simplified User-Handling and a Visualization Tool, Seismol. Res. Let., 85 (4), doi: 10.1785/0220130189.

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE BROADER AREA OF THE GERASA AND ARAKAPAS FAULTS, SW CYPRUS*

A. Varnava, A. Kilias, Al. Chatzipetros and Sp. Pavlides

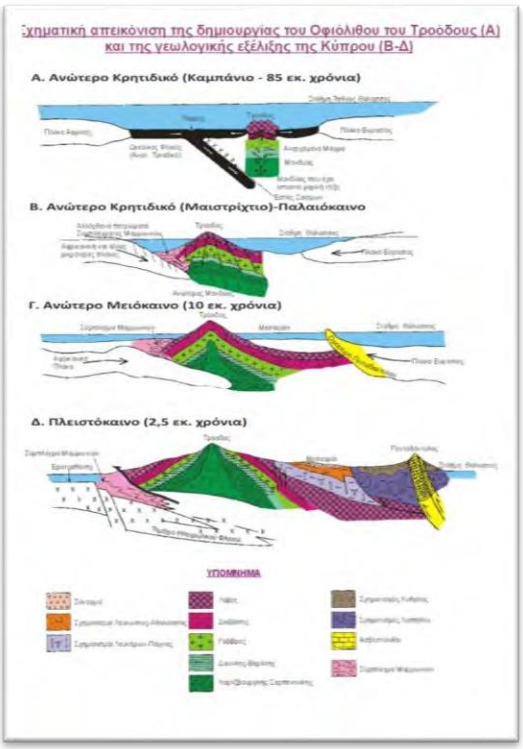
Laboratory of Geology and Paleontology, Department of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

Περίληψη

Η περιοχή που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, ήταν πρωτίστως η ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά και έπειτα ως δευτερεύουσα η ρηξιγενής ζώνη της Γεράσας, οι οποίες βρίσκονται στην Νοτιοδυτική Κύπρο και αναπτύσσονται στην οφιολιθική σειρά του Τροόδους. Η οφιολιθική σειρά του Τροόδους, ηλικίας, Ανώτερο Κρητιδικό (Καμπάνιο), αναπτύχθηκε σε μία ωκεάνια λεκάνη, που αποτελούσε υπο-τμήμα της Νεοτηθύος. Κατά το τέλος του Ανώτερου Κρητιδικού (Μαιστρίχτιο), τα παλαιότερα πετρώματα, του Συμπλέγματος των Μαμωνιών, προσκολλούνται στην οφιολιθική σειρά και στοιχίζονται δίπλα-δίπλα με αυτήν, κατά μήκος ρηγμάτων μετασχηματισμού ή οριζόντιας μετατόπισης. Η εξελικτική πορεία του νησιού συνεχίζεται και στο Ανώτερο Ολιγόκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο, κατά τη διάρκεια του οποίου ξεκινάει και η ανύψωση του νησιού. Στο τέλος του Μειόκαινου, τοποθετείται και η Ακολουθία της Κερύνειας πάνω στην οφιολιθική σειρά του Τροόδους. Κατά την περίοδο Μειόκαινου – Πλειόκαινου, η ιζηματογένεση ήταν ακόμη σε εξέλιξη και τέλος, στο Πλειστόκαινο το νησί της Κύπρου, δέχεται την κύρια ανύψωση του (Σχήμα 1).

Η ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά, όπως καλείται σήμερα, χαρακτηρίζεται ως ένα «απολιθωμένο» ρήγμα μετασχηματισμού και δημιουργήθηκε αρχικά, ταυτόχρονα με την οφιολιθική σειρά του Τροόδους. Το «απολιθωμένο» ρήγμα μετασχηματισμού του Αρακαπά, αναπτύχθηκε με παράταξη ανατολής-δύσης, διαχωρίζοντας το σχηματισμό του Δάσους της Λεμεσού, από την υπόλοιπη οφιολιθική σειρά του Τροόδους. Κάπως έτσι, το Δάσος της Λεμεσού, οριοθετείται στο βορειότερο τμήμα του από τη ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά και στο νοτιοδυτικό τμήμα του από τη ρηξιγενή ζώνη της Γεράσας (τυπικό δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, με ανάπτυξη παράταξης ΒΔ – ΝΑ). Η ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά, κατά την περίοδο του Τριτογενούς, δέχθηκε μία «τεκτονική ανανέωση» και άρχισε να επιδράει στην ευρύτερη περιοχή του Δάσους της Λεμεσού, ως ένα πραγματικό αριστερόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης. Στη νεότερη τεκτονική της περιοχής, αναγνωρίστηκαν δύο τεκτονικά γεγονότα. Κατά το τεκτονικό γεγονός D1, Μειοκαινικής – Πλειοκαινικής ηλικίας (Νεογενές), οι δύο αυτές ρηξιγενείς ζώνες του Αρακαπά και της Γεράσας λειτούργησαν ταυτόχρονα, ως δύο ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, δίνοντας ώθηση στην ευρύτερη περιοχή του Δάσους της Λεμεσού, να διαφύγει πλευρικά προς τα ΝΑ (Σχήμα 2 / Σχήμα 4). Στη συνέχεια, κατά το Πλειστόκαινο (Τεταρτογενές), η περιοχή επηρεάστηκε από έκταση, αναπτυσσόμενη κατά μήκος του άξονα Β-Ν και αναγνωρίστηκε, ως το πρόσφατο τεκτονικό γεγονός D2, το οποίο λειτουργεί στην περιοχή μέχρι και σήμερα (Ολόκαινο). Το συγκεκριμένο τεκτονικό γεγονός, καθίσταται, ως η σημερινή ενεργός τεκτονική (Σχήμα 3 / Σχήμα 4). Άρα, στα τεκτονικά γεγονότα D1 και D2, τα καθεστώτα τάσης που υφίστανται, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 2 και 3, είναι καθεστώς οριζόντιας μετατόπισης και έκτασης, αντίστοιχα.

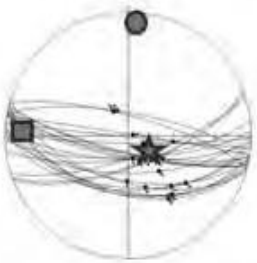
* Βαρνάβας Α. και συν: Τεκτονική ανάλυση της ευρύτερης περιοχής των ρηγμάτων της Γεράσας και του Αρακαπά στη νοτιοδυτική Κύπρο



Σχήμα 1 - Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Κύπρου, (τροποποιημένο από το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου).

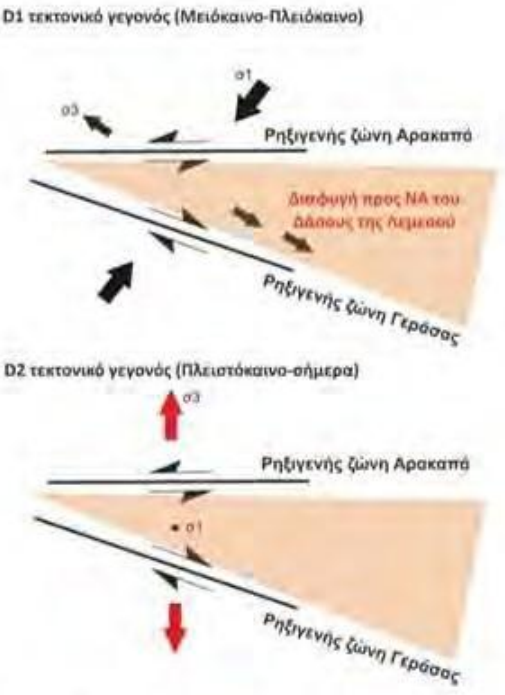
Σχήμα 2 – Τεκτονικό διάγραμμα του πεδίου τάσεων (σ1>σ2>σ3), του τεκτονικού γεγονότος D1.

σ1: ★ σ2: ■ και σ3: ●



Σχήμα 3 – Τεκτονικό διάγραμμα του πεδίου τάσεων ($\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$), του τεκτονικού γεγονότος D2.

σ1: ★ σ2: ■ και σ3: ●



Σχήμα 4 – Σχηματικό διάγραμμα της δυναμικής εικόνας, για κάθε τεκτονικό γεγονός, για την ευρύτερη περιοχή του Δάσους της Λεμεσού.

Abstract

The Upper Cretaceous (Campanian) ophiolite sequence of Troodos was developed in a constructive system which expanded afterwards, creating an oceanic basin. That oceanic basin was sub-segment of Neotethys. At the end of Upper Cretaceous (Maastrichtian), older rocks (Mamonia Complex) adhere to the ophiolite sequence of Troodos and are juxtaposed, along transform faults or strike-slip faults. The evolutionary process of the island continued in the Upper Oligocene-Late Miocene and at this period the uplift of the island commences. At the end of Miocene, the Range of Keryneia was emplacement of the ophiolite sequence of Troodos. Then at the period of Miocene-Pliocene the sedimentation was still in process and at the Pleistocene on the area of island of Cyprus the strong uplift took place. The Arakapas fault belt was created concurrently with the ophiolite sequence of Troodos and for that reason nowadays characterized as a “fossil” transform fault. The “fossil” transform fault of Arakapas was extended with an E-W strike, separating the formation of the Limassol Forest from the rest of the ophiolite sequence of Troodos. The Limassol Forest bounded by Arakapas fault belt at the north and Gerasas fault belt at the southwest, which is a typical dextral strike-slip fault with an NW-SE strike. At the Tertiary period, the Arakapas fault belt received a “tectonic rejuvenation” and began to effect to greater area of the Limassol Forest, as a real sinistral strike-slip fault. At the latest tectonics of the area, two tectonics events were recognized. During of the D1, Miocene-Pliocene (Neogene) age, those two fault belts of Arakapas and Gerasas was operated simultaneously as two strike-slip faults, giving a boost of the grater area of the Limassol Forest and so that it escape to the SE. Then, during of the Pleistocene (Quaternary), the area was expanded along the N-S axis and the recent tectonic event D2 was recognized. The tectonic event D2functions till nowadays (Holocene) and turns out to be the current active tectonic. Therefore, the regime stress at the D1 and D2 tectonic events is strike-slip and extension, respectively.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Gass, I.G., MacLeod, C.J., Murton, B.J., Panayiotou, A., Simonian, K.O., Xenophontos, C., and Georgiou, E., 1994. Geological Survey Department, Cyprus, Memoir 9.

Moores, E.M. and Vine, F.J., 1971. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 268(1192), 443-467

Murton, B.J., 1986. Journal of the Geological Society, 143(5), 845-854.

Robertson, A.H.F., 1977. Geological Society of America Bulletin, 88(12), 1763-1772.

Simonian, K.O. and Gass, I.G., 1978. Geological Society of America Bulletin, 89(8), 1220-1230.

Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου, www.moa.gov.cy/gsd

Βαρνάβα, Α., 2016. MSc, Τεκτονική Ανάλυση της ευρύτερης περιοχής των ρηγμάτων της Γεράσας και του Αρακαπά στην Νοτιοδυτική Κύπρο, Εργαστήριο Γεωλογίας και Παλαιοντολογίας, Τμήμα Α.Π.Θ.

EMODNET AS A PAN-EUROPEAN MARINE DATA INFRASTRUCTURE: THE HELLENIC PARTICIPATION IN EMODNET-GEOLOGY*

Eir. Zananiri[1], D. Sakellariou[2], E. Zimianitis[1], I. Vakalas[1], P. Drakopoulos[2], C. Kuriakidou[2] and G. Rousakis[2]

[1] Institute of Geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.), 13677 Acharnes, Athens, Greece (izanan@igme.gr, zimianitis@igme.gr, vakalasjohn@gmail.com)

[2] Institute of Oceanography, Hellenic Centre for Marine Research, 19013 Anavyssos, Attiki, Greece (sakell@hcmr.gr, vivi@hcmr.gr, hkyriakid@hcmr.gr, rousakis@hcmr.gr)

Περίληψη

Η Γενική Διεύθυνση Ναυτιλιακών Υποθέσεων και Αλιείας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (DG MARE), ανταποκρινόμενη στις σύγχρονες ερευνητικές, ενεργειακές και αναπτυξιακές ανάγκες, δημιούργησε ένα δίκτυο οργανισμών με σκοπό τη δημιουργία και ελεύθερη διάθεση δεδομένων και εναρμονισμένων προϊόντων (χαρτών) για τις Ευρωπαϊκές θάλασσες (http://www.emodnet.eu). Το δίκτυο EMODnet (European Marine Observation and Data Network) περιλαμβάνει διάφορα θεματικά πεδία: Βαθυμετρία, Γεωλογία, Θαλάσσια Οικοσυστήματα, Χημεία, Βιολογία, Φυσική, Ανθρωπογενείς δραστηριότητες και εντάσσεται στο Σχέδιο Δράσης για Ολοκληρωμένη Θαλάσσια Πολιτική (Integrated Maritime Policy Action Plan) της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με σκοπό να υποστηρίξει την δράση «Marine Knowledge 2020».

Η θεματική δράση για τη Γεωλογία του θαλάσσιου πυθμένα (EMODnet-Geology) υλοποιείται με τη συμμετοχή 36 Γεωλογικών Υπηρεσιών και Ινστιτούτων από 30 χώρες, ενώ η Ελλάδα εκπροσωπείται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών και το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών. Η διαδικτυακή της πύλη (http://www.emodnet-geology.eu) έχει ως βασικό σκοπό την ελεύθερη διάθεση:

- Γεωλογικών δεδομένων και μεταδεδομένων, οργανωμένων σύμφωνα με διεθνή πρότυπα
- Εναρμονισμένων χαρτών, σε κλίμακα 1:250.000, με βάση τα πρότυπα που καθορίστηκαν στην προπαρασκευαστική φάση του έργου (2009-2013).

Τα μέχρι σήμερα εναρμονισμένα και διαθέσιμα δεδομένα και χάρτες αφορούν την κατανομή επιφανειακών ιζημάτων (Εικόνα 1), το ρυθμό συσσώρευσης των ιζημάτων, τη γεωλογική δομή του πυθμένα, τη λιθολογία και στρωματογραφία του υποβάθρου, τη μεταβολή της ακτογραμμής, τους θαλάσσιους ορυκτούς πόρους και διάφορα γεωλογικά φαινόμενα (π.χ. σεισμοί, κατολισθήσεις κλπ).

Εικόνα 1. Η διαδικτυακή πύλη του EMODnet-Geology (αριστερά) και το εναρμονισμό θεματικό επίπεδο κατανομής επιφανειακών ιζημάτων, κλίμακας 1:250.000 (δεξιά).

*Ζανανίρι Ειρ. και συν.: Το δίκτυο EMODNET ως πανευρωπαϊκή υποδομή διάθεσης θαλάσσιων δεδομένων. Η ελληνική συμμετοχή στη θεματική ενότητα υποθαλάσσιας γεωλογίας

Σε αυτά τα θεματικά επίπεδα το Ι.Γ.Μ.Ε. και το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. συμμετέχουν με την διάθεση στοιχείων από τον Ελληνικό θαλάσσιο χώρο (π.χ. κατανομή επιφανειακών ιζημάτων, ρυθμός απόθεσης ιζημάτων, ρήγματα, κατολισθήσεις, συμπεριφορά ακτών, γεωλογικά φαινόμενα κλπ). Οι εργασίες που εκπονούνται στα πλαίσια του έργου EMODnet-Geology στοχεύουν τόσο στην εναρμόνιση και αξιοποίηση διαθέσιμων ψηφιακών προϊόντων, όσο και στην αξιοποίηση αναλογικών δεδομένων και περιεχομένων τοπικής βιβλιογραφίας. Έτσι, τα διάφορα στάδια εργασίας περιλαμβάνουν: συλλογή διαθέσιμων χαρτών και δεδομένων σε ψηφιακή & αναλογική μορφή, σάρωση και ψηφιοποίηση όπου αυτό απαιτούταν, σύνθεση/εναρμόνιση θεματικών επιπέδων σύμφωνα με τα πρότυπα του EMODnet-Geology, προσαρμογή στην κλίμακα εργασίας (1:250.000 όπου ήταν εφικτό) και στην επίσημη ακτογραμμή του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, συμπλήρωση των απαιτούμενων πεδίων του πίνακα χαρακτηριστικών κάθε επιπέδου και δημιουργία αρχείων με τα δεδομένα για τα παραγόμενα προϊόντα. Όλα τα παραπάνω είναι διαθέσιμα από τη διαδικτυακή πύλη του EMODnet, μέσω:

- Υπηρεσία αναζήτησης και πρόσβασης σε δεδομένα: Web Map Service – WMS και συνοδά αρχεία μετα δεδομένων.
- Υπηρεσία αναζήτησης και πρόσβασης σε σύνθετα προϊόντα: αναζήτηση με βάση γεωγραφικά και άλλα κριτήρια.
- Υπηρεσία θέασης και διαμοιρασμού: αναζήτηση δεδομένων με σύνδεση με αρχεία μεταδεδομένων.

Η διαδικτυακή πύλη εξυπηρετεί τον βασικό σκοπό της Ευρωπαϊκής οδηγίας INSPIRE, την βελτίωση στην πρόσβαση γεωχωρικών δεδομένων, ενώ τα περισσότερα παραγόμενα προϊόντα και οι διαθέσιμες υπηρεσίες είναι συμμορφούμενα κατά INSPIRE. Πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι το περιεχόμενο της ηλεκτρονικής υποδομής του EMODnet είναι δυναμικό, με ενημερώσεις/συμπληρώσεις σε εξαμηνιαία βάση, ενώ σε μελλοντική φάση του έργου θα προστεθούν και νέα θεματικά επίπεδα. Έτσι, μεμονωμένα ή δύσκολα προσβάσιμα δεδομένα συνδυάζονται για την παραγωγή και διάθεση διαλειτουργικών και ολοκληρωμένων επιπέδων πληροφοριών για τις ευρωπαϊκές θαλάσσιες λεκάνες. Επιτυγχάνεται, λοιπόν, η αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση χωρικών δεδομένων από ένα ευρύτερο σύνολο χρηστών, αυξάνοντας την αξία των παραγομένων προϊόντων. Η δεύτερη φάση των προγραμμάτων EMODNET έληξε τον Οκτώβριο και η τρίτη φάση αναμένεται να αρχίσει στις αρχές του 2017.

Abstract

During more than 30 years of activity and participation in numerous research projects, the Institute of Geology and Mineral Exploration of Greece the Hellenic Centre for Marine Research have carried out extensive work in marine geology and a vast amount of data have been collected. In order for those data and related products to be available and used by the international scientific community, a need for standardization and harmonization was imminent. Towards this scope over 60 marine geological and geophysical data centres, located in European maritime countries, participate in the EMODnet project: the creation and implementation of an e-infrastructure. The aim of the project is to enable users to identify, locate and access pan-European, harmonized and federated marine datasets and derived data products through a single common data portal. The EMODnet initiative, an INSPIRE-compliant service, comprises several lots: Bathymetry, Geology, Seabed Habitats, Chemistry, Biology, Physics and Human Activities. IGME and HCMR are partners in EMODnet-Geology Lot, contributing in the creation of harmonized map products (e.g. seabed substrate, sediment accumulation rates, coastal behavior, geological events and probabilities, faults, landslides etc). All data and products are available through the EMODnet-Geology portal, using simple (WFS) or composite view and access services, while metadata are also available. Noteworthy is the fact that EMODnet is a dynamic e-infrastructure, with continuous update of feature datasets, and planned inclusion of more data and additional layers in the next phase of the project.

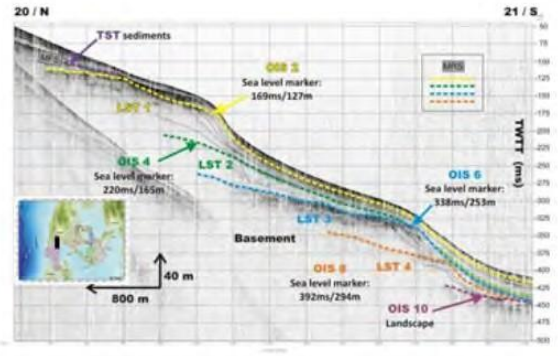
INTERACTION OF ACTIVE TECTONICS AND SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN THE AEGEAN*

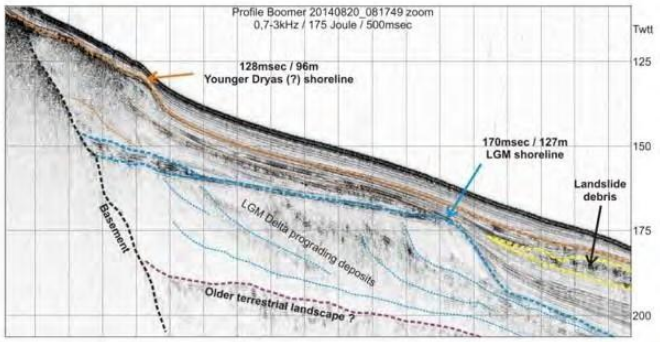
A. Zavitsanou and D. Sakellariou

Institute of Oceanography, Hellenic Centre for Marine Research, 19013 Anavyssos, Attiki, Greece

Περίληψη

Οι σχετικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης είναι συνάρτηση των ευστατικών μεταβολών και των κατακόρυφων κινήσεων του φλοιού, συμπεριλαμβανομένων των ισοστατικών και τεκτονικών κινήσεων. Σημαντικές μελέτες έχουν γίνει για τον προσδιορισμό της καμπύλης ανόδου της θαλάσσιας στάθμης μετά την τελευταία παγετώδη περίοδο και την κατασκευή ενός αξιόπιστου μοντέλου για την περιοχή της Μεσογείου, οι οποίες αναπόφευκτα λαμβάνουν υπόψη μόνο τις ευστατικές μεταβολές και ισοστατικές κινήσεις και προφανώς μπορούν να εφαρμοστούν σε τεκτονικά σταθερές περιοχές (Lambeck, 1996; Lambeck & Bard, 2000; Sivan et al., 2001, 2004; Lambeck et al., 2004; Lambeck & Purcell, 2005). Είναι γνωστό όμως ότι η περιοχή του Αιγαίου, στο σύνολό της, κάθε άλλο παρά σταθερή μπορεί να θεωρηθεί αφού παραμορφώνεται έντονα ως αποτέλεσμα των σχετικών κινήσεων της Αραβικής, Ευρασιατικής και Αφρικανικής πλάκας, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερο τεκτονικό καθεστώς με αποτέλεσμα διαφορετικούς ρυθμούς τεκτονικής βύθισης ή ανύψωσης σε παρακείμενες περιοχές. Συνεπώς, οι κινήσεις αυτές έχουν συμβάλλει κατά ένα μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη του αναγλύφου με αποτέλεσμα την ανάγκη ποσοτικοποίησης και τον συνυπολογισμό τους στην εξίσωση εύρεσης της σχετικής θαλάσσιας στάθμης σε διάφορες γεωλογικές περιόδους. Μία πρώτη συστηματική παλαιογεωγραφική αναπαράσταση του Αιγαίου στις περιόδους χαμηλής στάθμης θάλασσας δίνεται από τον Lykousis (2009), ενώ οι Sakellariou & Galanidou (2016) περγράφουν εκτενώς τις γεωλογικές διεργασίες και τεκτονικές κινήσεις που έχουν ε- πηρεάσει τις σχετικές μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης και την διαμόρφωση του βυθισμένου προϊστο- ρικού ανάγλυφου στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.





Εικόνα 1 (αριστερά): Ερμηνεία σεισμικής τομής Boomer από το ΒΑ Εσωτερικό Ιόνιο Αρχιπέλαγος: διαδοχικά προδελταϊκά πρίσματα όπου κάθε ένα συσχετίζεται με ένα ξεχωριστό στάδιο χαμηλής θαλάσσιας στάθμης. OIS: Oxygen Isotope Stage, LST: Lowstand System Tract, TST: Trangression System Tract (Zavitsanou et al., 2015).

Εικόνα 2 (δεξιά): Ερμηνεία σεισμικής τομής Boomer από την περιοχή της Κοιλάδας (Αργολικός Κόλπος) με κύριο στοιχείο το προδελταϊκό πρίσμα πιθανότατα της τελευταίας παγετώδους περιόδου (LGM) (Sakellariou et al., 2015).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε κυρίως σεισμικές τομές ανάκλασης υψηλής και μέτριας διακριτικότητας (3.5kHz, chirp, Boomer, airgun) με σκοπό την αναγνώριση και χαρτογράφηση χαρακτηριστικών δομών που αποτελούν δείκτες θαλάσσιας στάθμης όπως οι προδελταϊκές αποθέσεις (εικόνα 1, 2), οι θαλάσσιες αναβαθμίδες, οι παράκτιες αποθέσεις κ.ά. Βάσει τέτοιων δεικτών, είναι δυνατόν να εντοπιστούν και να χαρτογραφηθούν παλαιο-ακτογραμμές διαφόρων θαλάσσιων σταδίων (π.χ. MIS 2, MIS 6,

*Ζαβιτσάνου Α. και συν.: Αλληλεπίδραση τεκτονικών κινήσεων και μεταβολών στάθμης θάλασσας στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.

MIS 8 κ.ά.), να καθοριστούν με κριτήρια σεισμικής στρωματογραφίας οι ηλικίες και τα βάθη στα οποία εμφανίζονται, να υπολογιστούν οι ρυθμοί των κατακόρυφων τεκτονικών κινήσεων και οι πιθανές ρηξιγενείς δομές που έχουν λειτουργήσει.

Παρουσιάζονται προκαταρκτικά αποτελέσματα από διάφορες περιοχές του Αιγαίου και Ιόνιου Πελάγους, στα οποία μπορεί να προσδιοριστεί η επίδραση των τεκτονικών κινήσεων στη διαμόρφωση του βυθισμένου παλαιο-ανάγλυφου. Το Εσωτερικό Ιόνιο Αρχιπέλαγος βρίσκεται κοντά στο πιο ενεργό τμήμα της ζώνης υποβύθισης του Ελληνικού τόξου και στο Ρήγμα της Κεφαλλονιάς. Η εύρεση διαδοχικών προδελταϊκών ακολουθιών χαμηλής στάθμης θάλασσας σε αυξανόμενα βάθη αποτελεί ένδειξη τεκτονικής βύθισης της περιοχής με ρυθμό που μπορεί να υπολογιστεί από το σχετικό βάθος των προδελταϊκών (εικόνα 1). Η επίδραση των κατακόρυφων τεκτονικών κινήσεων από ρήγματα διεύθυνσης κυρίως ΒΒΑ - ΒΒΔ, αντικατοπτρίζεται στις μεταβολές της θέσης των παλαιο-ακτογραμμών όπως η αντίστοιχη του σταδίου 2 (OIS 2, 18 ka B.P.) της οποίας η θέση κυμαίνεται από 105m-130m κάτω από το σημερινό θαλάσσιο επίπεδο. Ο Αργολικός κόλπος αποτελεί μια βαθειά νεοτεκτονική ασύμμετρη τάφρο με μια μεγάλη υφαλοκρηπίδα στο ανατολικό περιθώριο (Papanikolaou et al.,1994). Κατά τις πρόσφατες περιόδους χαμηλής θαλάσσιας στάθμης, το περιθώριο αυτό βρίσκονταν εκτεθειμένο, κάτι το οποίο συνδέεται με την ανάπτυξη προϊστορικού πολιτισμού (Ανωτ. Παλαιολιθική- Νεολιθική περίοδος) στην περιοχή του σπηλαίου του Φράγχθι. Στον κόλπο της Κοιλάδας, οι Sakellariou et al. (2015) αναγνώρισαν αρκετές θαλάσσιες ενδείξεις συμπεριλαμβανομένων προδελταϊκών αποθέσεων, μορφολογικών αναβαθμίδων καθώς και παράκτιων αποθέσεων. Στην ίδια έρευνα χαρτογραφήθηκαν κανονικά, ενεργά ρήγματα ΒΑ διεύθυνσης, τα οποία έχουν μετατοπίσει τη θέση των παλαιο-ακτογραμμών. Για παράδειγμα η θέση της παλαιο-ακτογραμμής του σταδίου 2 (OIS 2, 18 ka B.P.) κυμαίνεται μεταξύ 116m-127m ενώ η αντίστοιχη του σταδίου 6 (OIS 6, 140 ka B.P.) μεταξύ 159m-173m κάτω από το σημερινό θαλάσσιο επίπεδο, επιτρέποντας έτσι υπολογισμούς ρυθμών βύθισης η ανύψωσης.

Η παρούσα εργασία είναι σε εξέλιξη και έχει σκοπό την δημιουργία διαδοχικών αναπαραστάσεων της παλαιογεωγραφίας με έμφαση στις παλαιο-ακτογραμμές των σταδίων χαμηλής στάθμης θάλασσας στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου λαμβάνοντας υπόψη και την επίδραση των κατακόρυφων τεκτονικών κινήσεων.

Abstract

Relative sea level changes are a function of eustatic change as well as isostatic and tectonic vertical movements. The Mediterranean and Aegean region have experienced major changes in sea level during glacial cycles. Especially for the Aegean region, it is expected that tectonic vertical movements, resulting from a complex geodynamic pattern, must have heavily contributed to the relative sea level change in tectonically active areas. Interpretation of sub-bottom seismic profiles may provide evidence on the paleogeographic evolution of an area by indicating paleo-shorelines and estimates on tectonic rates of subsidence or uplift.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Lambeck, K. (1996). Sea-level change and shore-line evolution in Aegean Greece since Upper Paleolithic time. Antiquity, 70(269), 588–611.

Lambeck, K., et al. (2004). Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr, 23, 1567–1598. http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.02.009

Lambeck, K., & Bard, E. (2000). Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years, 175.

Papanikolaou, D., et al. (1994). Neotectonic structure of the Argolic Gulf. Bull Geol Soc Greece, 30, 305–316.

Sakellariou, D., et al. (2015). Submerged prehistoric landscapes off Franchthi Cave , East Argolic Gulf : preliminary results. 11th Pan. Symposium on Oceanography and Fisheries, Mytilene, Lesvos Island, Greece, (3), 993–996.

Sakellariou, D., & Galanidou, N. (2016). Pleistocene submerged landscapes and Palaeolithic archaeology in the tectonically active Aegean region. In: Harff, J., Bailey,G.& Lüth, F. (Eds) 2016. Geology and Archaeology: Submerged Landscapes of the Continental Shelf. Geological Society, London, Special Publications, 411, 145–178. http://doi.org/10.1144/SP411.9

Sivan, D., et al. (2004). Ancient coastal wells of Caesarea Maritima, Israel, an indicator for relative sea level changes during the last 2000 years. Earth and Planetary Science Letters (Vol. 222).

Sivan, D., et al. (2001). Holocene sea-level changes along the Mediterranean coast of Israel, based on archaeological observations and numerical model. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 167(1), 101–117. http://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00234-0

Zavitsanou, A., et al. (2015). Paleogeographic reconstruction of the Inner Ionian Sea during Late Pleistocene low sealevel stands: Preliminary results.

THE 1913 CATASTROPHIC LANDSLIDE EVENT OF KRATHIS RIVER, NE ACHAIA, GREECE*

V. Zygouri

Department of Geology, University of Patras, 26500 Rion Patras, Greece (zygouri@upatras.gr)

Περίληψη

Η έμφραξη μεγάλων ποτάμιων συστημάτων από καταστροφικές κατολισθήσεις είναι ένας σημαντικός γεωλογικός κίνδυνος και μια σημαντική γεωμορφολογική διεργασία των ορεινών περιοχών. Τα φράγματα που προέρχονται από κατολισθήσεις μπορούν να αστοχήσουν προκαλώντας καταστροφικές πλημμύρες. Το αρχείο τύπου μιας περιοχής μπορεί να διαθέσει γόνιμη πληροφόρηση και να καταστεί ένα χρήσιμο εργαλείο στην διερεύνηση ιστορικών κατολισθήσεων και τον τρόπο με τον οποίο επέδρασαν στο ανθρώπινο και ποτάμιο περιβάλλον. Στις αρχές του 20ου αιώνα, το 1913, μια εκτεταμένη κατολίσθηση έλαβε χώρα στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Κράθη ποταμού στο ΒΔ Κορινθιακό. Αυτή η κατολίσθηση οδήγησε στην έμφραξη της ποτάμιας απορροής με αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο λιμνών. Την 5η Ιανουαρίου 1914 η έμφραξη της ποτάμιας απορροής υποχώρησε μερικώς προκαλώντας μια ξαφνική μαζική πλημμύρα η οποία προκάλεσε καταστροφές στην παράκτια περιοχή του δέλτα του Κράθη. Η περιγραφή των γεγονότων που προηγήθηκε του μαζικού κατολισθητικού φαινομένου ενισχύει την προσπάθεια καταγραφής των σταδίων εξέλιξης της κατολίσθησης και αποκαλύπτει τους γενεσιουργούς μηχανισμούς της. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στη μαρτυρία που αναγράφεται και περιγράφεται στο αρχείο του εθνικού και τοπικού τύπου της εποχής, ώστε να εκτιμηθεί ο τύπος της αστοχίας καθώς και ο τύπος της έμφραξης σύμφωνα με τα διεθνή βιβλιογραφικά πρότυπα. Αυτή η εκτίμηση είναι βασική για την επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας για την διαχείριση μελλοντικών πιθανών αστοχιών.

Γεωλογική θεώρηση της περιοχής

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η κατολίσθηση του 1913 η οποία συνέβη στην ανατολική πλευρά του Κράθη ποταμού την 24η Μαρτίου 1913 δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στις αιτίες εκδήλωσής της και στον τρόπο εξέλιξής της. Έχει διαπιστωθεί ένας σαφής συσχετισμός της χωρικής κατανομής των κατολισθήσεων και των αιτιών εκδήλωσής τους, προτείνοντας ότι αυτές οι αιτίες μπορούν να ενταχθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες τις κλιματικές και τις τεκτονικές (Korup and Tweed 2007). Η κατολίσθηση του 1913 αποτελεί ένα παράδειγμα σύνθετης κατολίσθησης η οποία συνέβη μετά από ένα μετρίου μεγέθους σεισμικό γεγονός σε μια περιοχή η οποία είχε ήδη καταστεί ασταθής εξαιτίας των ακραίων καιρικών φαινομένων που την επηρέασαν για μακρύ χρονικό διάστημα πριν από την εκδήλωση της κατολίσθησης. Επιπλέον είναι σαφές ότι οι υψηλοί ρυθμοί παραμόρφωσης που επικρατούν στο Δυτικό τμήμα του Κορινθιακού κόλπου που οφείλονται στη δραστηριότητα ΒΒΑ κανονικών ρηγμάτων λιστρικής γεωμετρίας (Poulimenos et al. 1989; Rohais et al. 2007) ελέγχουν την εκδήλωση κατολισθήσεων, περιορίζουν την έκτασή τους και οριοθετούν τη κατεύθυνση της κίνησης.

Χρονικό της κατολίσθησης του 1913

Η κατολισθαίνουσα μάζα προκάλεσε την απώλεια 4 ανθρώπινων ζωών, κατέστρεψε ολοσχερώς το χωριό Συλλίβαινα στους πρόποδες του όρους Γερακάρι και έμφραξε ολοκληρωτικά την ποτάμια κοίτη του Κράθη προκαλώντας υλικές καταστροφές και στο χωριό του Τσιβλού. Συνέπεια αυτής της έμφραξης ήταν η δημιουργία δύο λιμνών στις οποίες συγκεντρώθηκε σταδιακά το νερό της απορροής του ποτάμιου συστήματος του Κράθη. Η διάταξη των λιμνών αυτών περιλάμβανε μια λίμνη η οποία σε σύντομο χρονικό διάστημα συγκέντρωσε έναν αξιοσημείωτο όγκο νερού και μια μικρότερη λίμνη, πλευρικά της πρώτης, η οποία δεχόταν την απορροή ποταμών μικρότερης δυναμικής. Ορισμένα φράγματα προερχόμενα από

*Ζυγούρη Β.: Η καταστροφική κατολίσθηση του 1913 στην λεκάνη του ποταμού Κράθη, ΒΑ Αχαΐα, Ελλάδα

κατολισθήσεις περιορίζουν λίμνες οι οποίες κυριαρχούν στην ποτάμια μορφολογία για μακρύ χρονικό διάστημα και αποτελούν μόνιμα χαρακτηριστικά του ορεινού τοπίου. Οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης οι οποίες χρησιμοποιούν δεδομένα από ψηφιακά μοντέλα εδάφους θεωρούνται πλέον ως ένα απαραίτητο εργαλείο στον γρήγορο και με αξιόπιστο τρόπο χαρακτηρισμό μεγάλων καταστροφικών κατολισθήσεων (π.χ. Roberts and Evans, 2013) και στον προσδιορισμό της εξέλιξης της έμφραξης και της μερικής ή της ολικής καταστροφής ή υπερπήδησης του φράγματος (Schneider et al., 2013). Η έμφραξη του Κράθη ποταμού διήρκησε περίπου 10 μήνες μέχρι την 5η Ιανουαρίου 1914 καταλήγοντας σε μια μερική κατάρρευση του φράγματος που προκάλεσε εκτεταμένο πλημμυρικό επεισόδιο στο δέλτα του Κράθη ποταμού εκτονώνοντας τον υδάτινο όγκο της μιας λίμνης. Η δεύτερη λίμνη συνεχίζει να υφίσταται ως σήμερα αποτελώντας βασικό συστατικό του τοπίου και συνιστώντας πλέον τη γνωστή και αξεπέραστης φυσικής ομορφιάς λίμνη Τσιβλού.

Συμπεράσματα

- Η κατολίσθηση του 1913 αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο η τεκτονική δραστηριότητα επηρεάζει την ευστάθεια πρανών που είναι επιδεκτικά σε κατολισθητικές κινήσεις.
- Το αρχείο του τοπικού και εθνικού τύπου μπορεί να ανασυστήσει την εξέλιξη ιστορικών κατολισθήσεων και καταστροφών.
- Ο τρόπος έμφραξης καθώς και η δημιουργία υδάτινου ταμιευτήρα χαρακτηρίζεται από τη γεωμετρία και τον όγκο του φράγματος, της μορφολογίας της ποτάμιας λεκάνης και των χαρακτηριστικών της.
- Η εκτίμηση της συνεισφοράς των κατολισθητικών μετακινήσεων είναι απαραίτητη στην περιγραφή της γεωμορφολογικής ανάπτυξης μιας ποτάμιας λεκάνης και της κατανομής της ιζηματολογικής διεργασίας.

Abstract

The damming of major rivers by catastrophic landslides is an important geological hazard and a significant geomorphic process in mountain regions. Landslide dams may fail and generate destructive outburst floods, although not all landslide dams are unstable or have failure potential. The newspaper archive can offer valuable information and tools in order to determine historic landslides and the way that interacted with human environment. The newspaper archive of the early 20th century describes a massive landslide occurred in Krathis River basin in western Gulf of Corinth, on 1913. This landslide led to the impoundment of Krathis River and its tributaries, forming two lakes and deprived its water from lowland area. On 5th January 1914 the Krathis River dam largely collapsed provoking a massive outburst flood that seriously affected lowlands. The narration of the events that preceded the massive landslide shed light to the attempt to reconstruct the landslide history and its reasons. This approach relies on national and local press archive in order to classify the landslide type and the impoundment type. Such an understanding is essential for the appropriate application of the methodology for risk mitigation purposes.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Korup, O., Tweed, F., 2007. Ice, moraine, and landslide dams in mountainous terrain. Quater. Sci Rev. 26, 3406-3422.

Poulimenos, G., Albers, G., Doutsos, T., 1989. Neotectonic evolution of the central section of the Corinth Graben. Z. dt. Geol. Ges. 140, 173-192.

Roberts, N.J., Evans, S.G., 2013. The gigantic Seymareh (Saidmarreh) rock avalanche, Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. J. Geol. Soc. 170, 685–700.

Rohais, S., Eschard, R., Ford, M., Guillocheau, F., Moretti, I., 2007. Stratigraphic architecture of the pliopleistocene infill of the Corinth Rift: implications for its structural evolution. Tectonophysics 440, 5-28.

Schneider, J.F., Gruber, F.E., Mergili, M., 2013. Recent cases and geomorphic evidence of landslide-dammed lakes and related hazards in the mountains of Central Asia. In: Margottini, C., Canuti, P., Sassa, K. (Eds.), Landslide Science and Practice. Risk Assessment, Management and Mitigation vol. 6. Springer, Heidelberg, pp. 57–64.

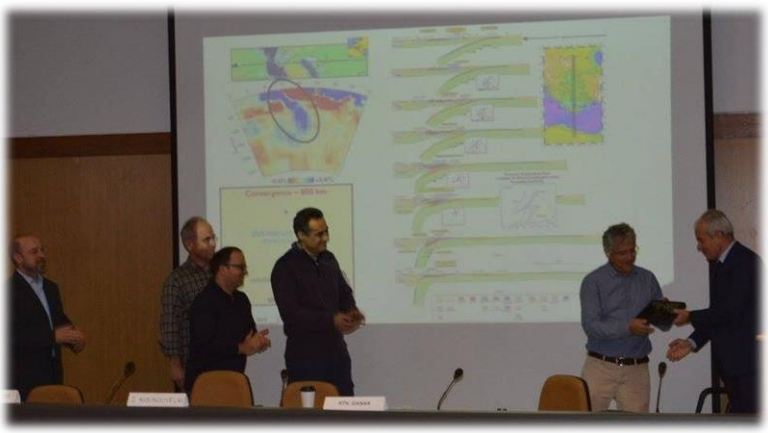
Author Index

Last Name	First Name	Page
Agrimaki	A.	33
Alexandri	M.	49
Alexopoulos	A.	31,56
Amvrazis	M.	33
Andrews	J.	44
Aravantinou	I.	2
Argyrakis	P.	11
Arnoux	G.	42
Baroutsos	D.	23
Begg	J.	39
Bodmer	M.	42
Boutsakis	K.	33
Briole	P.	11
Chailas	S.	70
Chatzipetros	Al.	4,7,20,29,52,54,73
Chatzopoulou	M.	7
Christodoulou	D.	13
Christopoulou	M.E.	42
Dimas	X.	13
Drakopoulos	P.	76
Efstathiou	A.	70
Elias	P.	11
Farangitakis	G.P.	49
Ferentinos	G.	13
Fountoulakis	I.	9
Ganas	Ath.	11,18,20,52
Gawthorpe	R.	44
Georgiadis	G.	52,54
Georgiou	K.N.	13
Gerogiannis	N.	2
Getz	C.	42
Giannopoulos	V.	23
Grammenidis	G.	16
Gray	M.	42
Hainzl	S.	39
Hatzaras	V.	2
Heath	B.	42
Hooft	E.	42
Iliopoulos	I.	2
Jolivet	Laurent	1
Kapetanidis	V.	18,35
Karakonstantis	A.	18
Karakonstantis	A.	35
Karamitros	I.	20
Kassaras	I.	18
Kaviris	G.	9,35

Kilias	A.	73
Kolia	E.	37
Kotsirea	S.	23
Koukouvelas	I.	20,37
Kranis	H.	16
Kranis	H.	31,44
Kuriakidou	C.	76
Lampridou	D.	42,49
Laskari	S.	25
Lazaridis	G.	27
Lazos	Il.	29
Lekkas	S.	31
Lozios	S.	23,25,31,56,58
Lykousis	V.	60
Makropoulos	K.	35
Manoutsouglou	E.	33
Mendonidis	Ev.	11
Millas	Ch.	35
Moreno	M.	39
Moschou	A.	37
Mouratidis	A.	20
Mouslopoulou	V.	39
Nicol	A.	39
Nomikou	P.	42,49,60
O'Hara	Dan	42
Oncken	O.	39
Panoutsopoulos	G.	44
Papadimitriou	P.	9,18,35
Papanikolaou	M.	11
Papanikolaou	I.	49
Papanikolaou	D.	47,49,60
Papathanasiou	G.	52,54
Papatheodorou	G.	13
Pavlides	Sp.	7,20,52,54,64,73
Provias	A.	56
Rousakis	G.	49,76
Sakellariou	D.	16,67,76,78
Sakellaropoulos	Ph.	58
Sboras	S.	52,54
Seman	S.	31
Sergiou	S.	13
Simou	E.	60
Skourtsos	E.	23,31,44,56
Smpokos	E.	33
Soukis	K.	23,25,31,56
Spanoudakis	N.	33
Spiggos	I.	9,35
Stamatakis	M.	70
Steiakakis	E.	33
Stergiou	Ch.	4
Stika	M.	23

Stockli	D.	25,31
Thomaidou	E.	52
Toomey	D.	42
Tranos	M.	7,62,64
Tsampouraki-Kraounaki	K.	67
Tzanis	A.	70
Tzigkalidou	S.	62
Vakalas	I.	76
Valkaniotis	S.	52,54
VanderBeek	B.	42
Varnava	A.	73
Vasilaki	E.	58
Vassilakis	Em.	62
Voudouris	K.	33
Voulgaris	N.	35
Xypolias	P.	2
Zananiri	Eir.	76
Zavitsanou	A.	78
Zimianitis	E.	76
Zygouri	V.	20,81

Aegean tectonics and subduction dynamics
from field work to numerical modelling



Bulletin of the Geological Society of Greece

Special Publication No 13, 2025

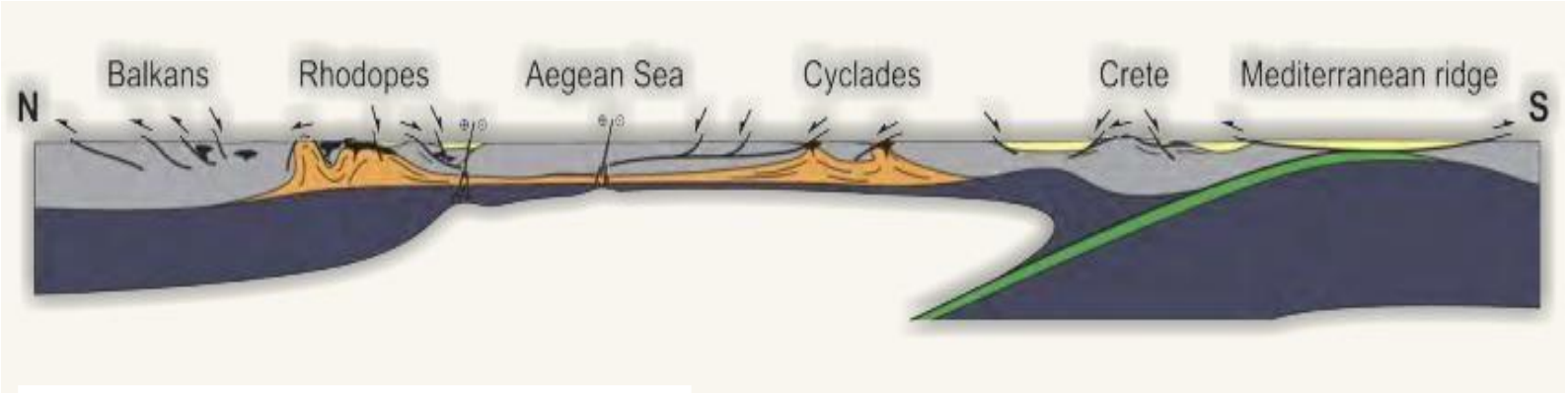
TECTONICS AND STRUCTURAL GEOLOGY COMMITEE OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF GREECE

Proceedings

OF THE 1ST Tectonics and Structural Geology Meeting

6 December 2016 | "Leon. Zervas" Auditorium |

National Research Foundation - Athens, Greece



Bulletin of the Geological Society
Special Publication No. 13, 2025
Publisher: Geological Society of Greece
ISBN (print) 978-618-86841-2-6
ISBN (e-book) 978-618-86841-3-3

Sponsored by: National Observatory of Athens