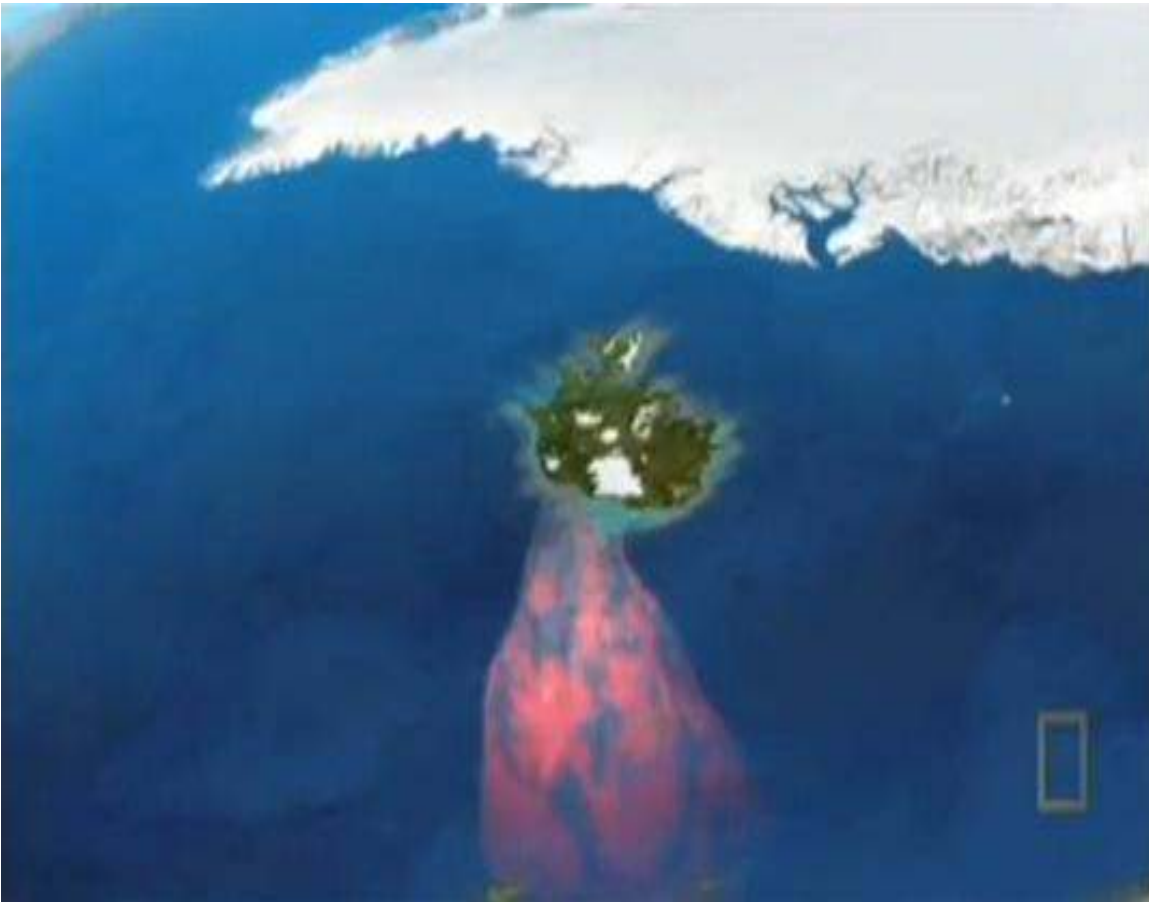


ა. ოქროსცვარიძე

მანტიური კლიშეების თეორია:
ახალი გეოლოგიური პარადიგმა?



ავთანდილ ოქროსცვარიძე

გეოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი; E-mail: okrostsvari@gmail.com

თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
აღ. ჯანელიძის გეოლოგიის ინსტიტუტი

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის
დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა ინსტიტუტი

მანტიური პლიუმების თეორია: ახალი გეოლოგიური პარადიგმა?

ნაშრომში პირველად ქართულ გეოლოგიურ ლიტერატურაში, უმდიდრესი თანამედროვე სამეცნიერო ინფორმაციის ანალიზის საფუძველზე, განხილულია მანტიური პლიუმების თეორია. ამასთან ერთად, გამოხატულია ავტორისეული პოზიცია ამ თეორიის ძირითად მტკიცებულებებზე და კონტრარგუმენტებზე. ჩვენი აზრით ეს თეორია წარმოადგენს დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა განვითარების ლოგიკურ შედეგს, რომელსაც მომავალში დიდი მნიშვნელობა ექნება გლობალური გეოლოგიური პროცესების სწორ გააზრებაში და შეფასებაში. ნაშრომის ამ მცირე ფორმით და თანაც ქართულ ენაზე მიწოდება მკითხველისადმი კი გამართლებულად მიგვაჩნია, რადგანაც იგი ძირითადად გამიზნულია სტუდენტებისთვის და ზოგად სამეცნიერო დატვირთვას ატარებს. ვფიქრობთ შრომა საქართველოს დედამიწის შემსწავლელ სამეცნიერო საზოგადოების დაინტერესებასაც გამოიწვევს.

რეცენზენტი: აკადემიკოსი ერეკლე გამყრელიძე

ISBN 978-9941-0-3392-6

გარეკანზე - მოდელირებულია ისლანდიის კუნძულები და მისი მკვებავი მანტიური პლიუმის სეისმური ტომოგრაფიული გამოსახულება;

უკანაკანზე - აღმოსავლეთ აფრიკის რიფტის ნაწილი და დიდი ვულკანური ზეგანი ტანზანიაში. სურათი გადაღებულია აერონავტიკისა და კოსმოსური კვლევების სააგენტოს მიერ (აშშ, NASA).

ინტელექტი
თბილისი, 2010

წინასიტყვაობა

შრომში ძალიან მოკლეაა განხილული მანტიური პლიუმების ახალი თეორია, რომელიც დაფუძნებულია თანამედროვე მაღალტექნოლოგიურ კვლევებზე და დაგროვილ უმდიდრეს ფაქტობრივ მონაცემებზე. ამ თეორიის მიხედვით ბირთვისა და მანტიის საზღვარზე ფორმირდება გრანდიოზული მაგმური მდნარები (სუპერპლიუმები) რომლებიც მანტიურ კონვექციების მეშვეობით აღწევენ ლითოსფეროდან, სადაც განსაზღვრავენ გლობალურ გეოლოგიურ პროცესებს. სამწუხაროდ საქართველოში პლიუმური მაგმატიზმის შესახებ ინფორმაცია ძალიან მწირია და შესაბამისად არც კვლევები მიმდინარეობს, მაშინ როცა დასავლეთის ქვეყნებში და თვით რუსეთშიც კი მანტიურ პლიუმებს ეძვნება დიდი საერთაშორისო ფორუმები, სპეციალური სამეცნიერო კოლექტიური შრომები და მონოგრაფიები.

ტექნოლოგიურმა პროგრესმა ძალიან ცნობადი გახადა ჩვენი პლანეტა. თანამედროვე ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული კვლევები გვიჩვენებს, რომ იმ გლობალური მოვლენების უმეტესობა, რომელთაც ჩვენ გარე სამყაროს ვუკავშირებდით, თვით დედამიწაში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებში უნდა ვეძიოთ. ეს შეეხება ბიოსფეროში მიმდინარე მკვეთრ ცვლილებებს, თუ ანომალურ ნალექდაგროვებებს ან სუპერვულკანებს. თანამედროვე მაღალმგრძობიარე სეისმური ტომოგრაფიის საშუალებით აშკარა გახდა, რომ იელოსტონის ნაციონალური პარკი რეალურად ვულკანის კრატერია, რომლის რადიუსი 40 კმ-ს აჭარბებს და რომლის მკვეთრი უზარმაზარი მაგმური დიაპირის კერა მანტიისა და გარე ბირთვის საზღვარზე “სუპერპლიუმებში” მდებარეობს. სამწუხაროდ ასეთ სუპერვულკანებს დედამიწის ზედაპირზე ექვსია და არავინ იცის თუ რა შედეგებს გამოიწვევს თუნდაც ერთ-ერთი მათგანის აფეთქება. ასეთი გიგანტური ვულკანური აპარატების ფორმირება კი მხოლოდ დრმა მანტიური პლიუმების მოქმედებით თუ აიხსნება.

დინოზავრების გადაშენების ვერსია სხვა ცხოველების მიერ მისი კვერცხების განადგურების შედეგად რა თქმა უნდა არასერიოზულია. ეს გიგანტური პოპულაცია მთელი რიგი არგუმენტირებული ფაქტების მიხედვით ტემპერატურის სწრაფი დაწევის შედეგად ამოწვდა. ტემპერატურის ასეთი სწრაფი დაწევა კი არ შეეძლო გამოეწვია მეტეორიტულ დაბომბვას, რადგანაც იმ დროისათვის დედამიწას საკმაოდ მძლავრი ატმოსფერო იცავდა. როგორც თანამედროვე კვლევები აჩვენებს დინოზავრების გადაშენება დროში ემთხვევა გვიანცარცული პერიოდის გლობალურ პლიუმურ მაგმურ

აქტივობას, რომელმაც დედამიწაზე სხვა დიდ გეოლოგიურ ცვლილებებთან ერთად ატმოსფეროს ტემპერატურის სწრაფი დაწვევაც განაპირობა.

ამ კონკრეტული შემთხვევების გარდა, ზოგადად მანტიურმა პლიუმურმა ნაკადებმა უდიდესი გავლენა იქონია ჩვენი პლანეტის ატმოსფეროზე, ბიოსამყაროზე, გეოდინამიკაზე, გეომორფოლოგიაზე, მაგმატიზმზე, ვულკანოგენურ-დანალექ პროცესებზე, ზოგიერთ მნიშვნელოვან სასარგებლო წიაღისეული საბადოების ფორმირებაზე და თვით სეიესმურობაზეც კი.

რაც შეეხება კავკასიას, ყველა მონაცემების მიხედვით ამ რეგიონში დიდი უნდა იყოს პლიუმური მაგმური აქტივობის გავლენა, რამაც როგორც სჩანს მნიშვნელოვნად განსაზღვრა მისი გეოლოგიური განვითარების ისტორია. მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის ჭრილში კავკასიის ოროგენის გეოლოგიის განხილვა კი მეტად საინტერესო და ამავე დროს პრაქტიკული მნიშვნელობის ამოცანაა, რომლის გადაწყვეტაც როგორც სჩანს ჩვენს ახალგაზრდა თაობას მოუწევს.

შრომა განკუთვნილია დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერთა ფართო წრისთვის, მაგრამ იგი განსაკუთრებით საინტერესო იქნება სტუდენტებისათვის, იმ თაობისათვის რომელთა გეოლოგიური აზროვნებაც ახლა ყალიბდება.

შესავალი

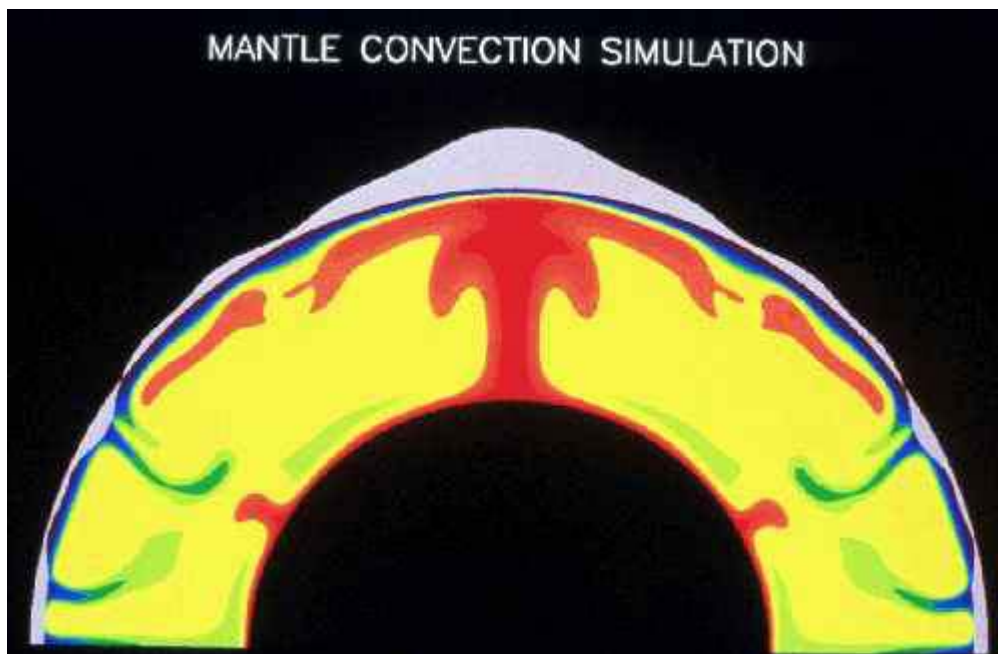
გასული საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისში ფილების ტექტონიკის ახალმა თეორიამ, რომელმაც დედამიწის ქერქში მიმდინარე ყველა გეოლოგიური მოვლენა ლითოსფერული ფილების დინამიკას, მათ კოლიზიას და სუბდუქციის პროცესებს დაუკავშირა, ბევრ სადავო გეოლოგიურ საკითხს მოუძებნა ახსნა, მაგრამ აუხსნელი რჩებოდა ისეთი მნიშვნელოვანი გეოლოგიური მოვლენები როგორცაა შიდა ფილაქნური ვულკანიზმი, კონტინენტური ბაზალტური განფენები (ტრაპები) და განშრევებული გიგანტური პლუტონური წარმონაქმნები. ამ თეორიის მიერ ბუნდოვანი იყო თვით ფილების მოძრაობის მექანიზმის ახსნაც. მეცნიერული პოლემიკის ამ ფონზე ჰავაის კუნძულების გეომეტრიის ანალიზის შედეგად ჯ. ვილსონმა წამოაყენა ცხელი წერტილების (hot spot) იდეა (Wilson, 1963). ამ იდეის თანახმად მანტიიდან მოედინება აღმავალი ცხელი დინებები, რომლებიც მის ზემოთ მოძრავ ფილებში იწვევენ ვულკანურ აქტივობას და რელიეფში ქმნიან ასაკში პროგრესირებად ხაზობრივ ვულკანურ ქედებს. ამ შრომაში „ცხელი წერტილების“ სხვა უფრო კონკრეტული განმარტება არ გაკეთებულა, მიუხედავად ამისა, იდეამ რადგანაც იგი სავსებით არგუმენტირებულად ხსნიდა შიდა ფილაქნურ ვულკანიზმს, ფილების ტექტონიკის მომხრეების მხრიდან აქტიური მხარდაჭერა მოიპოვა, თუმცა მან ვერ ახსნა ზემოთ აღნიშნული მნიშვნელოვანი გეოლოგიური მოვლენები და ამასთან მასში თვით “ცხელი წერტილების” კერების გენეზისი არ იყო ნათელი.

1. მანტიური პლიუმების თეორიის ზოგადი მიმოხილვა

მანტიური პლიუმების კონცეფცია შემოგვთავაზა ამერიკელმა გეოფიზიკოსმა ჯ. მორგანმა (Morgan, 1971) (plume-კვამლის ხვეულა, კვამლის დინების ფორმა). განსხვავებით ცხელი წერტილების იდეისა მან უკვე პირველივე შრომაში ცხადად ჩამოაყალიბა ამ კონცეფციის არსი, რომლის მიხედვითაც მანტიისა და დედამიწის გარე ბირთვის საზღვრიდან მანტიურ აღმავალ დინებებს სითბური ენერჯია თერმული დიაპირების სახით ძალიან ნელა გადააქვთ დედამიწის ზედაპირისკენ (ნახ. 1, 2). ისინი ლითოსფეროსთან შეხებისას იწვევენ მის დაძაბულობას, დეფორმაციას, ნაწილობრივ ღლობას და ხშირად დესტრუქციას; დესტრუქციული მოძრავი ნაწილების აკრეციას და ზოგ შემთხვევაში მანტიაში ჩათრევას. ამ შრომაში ავტორმა მანტიური პლიუმები ლითოსფერული ფილების მთავარ მამოძრავებელ ძალად განიხილა, რადგანაც მისი აზრით შუა ოკეანური ქედების რიფტინგს და ოკეანურ ღრმაობებს არ შეუძლიათ გამოიწვიონ ლითოსფერული ფილების მოძრაობა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მან ატლანტიკის და ინდოეთის ოკეანეების ფორმირება არა რიფტინგს, არამედ მანტიურ



ნახ. 1. დედამიწის ბირთვის (ნარინჯის ფერი) და მანტის (მუქი ფერის) მანტიური პლიუმების (მოყვითალო) მოდელირებული გამოსახულება. დამუშავებულია მინესოტას (აშშ) სუპერკომპიუტერულ ინსტიტუტში.



ნახ. 2. მანტიური პლიუმების (წითელი) კომპიუტერულ მოდელირებული გამოსახულება (Montelli et al., 2006).

მუქი ფერის - ბირთვი, ყვითელი - მანტია, ლურჯი-ლითოსფერული ფილაქნები, მწვანე-შედარებით ცივი არეალები მანტიაში. წითელსა და მწვანე არეალებს შორის ტემპერატორული სხვაობა საშუალოდ 1000°C შეადგენს.

პლიუმურ დინებებს დაუკავშირა. რაც შეეხება კონტინენტურ ლითოსფეროში მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის მოქმედების არგუმენტებს ჯ. მორგანი (Morgan, 1971) აღნიშნავდა მათ სუსტ გამოვლენას, თუმცა შემდგომმა შრომებმა აჩვენა მანტიური პლიუმების აქტიური მოქმედების შედეგები: პლატობაზალტები, კონტინენტური რიფტები, წრიული დაიკები და სხვა.

იმის გამო, რომ მანტიური პლიუმების კონვექციით გამოწვეული ბევრი გეოლოგიური მოვლენა აიხსნება ფილების ტექტონიკის თეორიით, მე-20 საუკუნეში პლიუმების კონცეფციამ აქტიური მხარდაჭერა ვერ მოიპოვა. იგი მეცნიერთა ყურადღების ცენტრში ამ საუკუნის დასაწყისიდან მოექცა, მას შემდეგ რაც სეისმურმა ტომოგრაფიამ, გაზრდილი შესაძლებლობების შედეგად, რეალურად გამოსახა ცხელი მანტიური დინებები, რომელთა კერებიც დედამიწის გარე ბირთვისა და ქვედა მანტიის საზღვარზე, D-შრეში დაფიქსირდება. ამ შრის გასწვრივ, სადაც გარე ბირთვის თხევადი მეტალური მასა ემიჯნება მანტიის არა მეტალურ ქანებს, მანტიიდან გარე ბურთვისკენ ადგილი აქვს ტემპერატურის მყისიერ, დაახლოებით 1000°C მატებას (ნახ. 3). ამ მაღალტემპერატურულ გარემოში (დაახ. 4000°C) მიმდინარეობს მანტიური ქანების აქტიური ღღობის და ასიმილაციის პროცესი და ფორმირდება მეტალებით გამდიდრებული გრანდიოზული მდნარი მასები, რომლებიც თერმოობარული დისბალანსის გამო, ცხელი ნაკადების სახით გადაადგილდებიან დედამიწის ზედაპირისკენ. აღსანიშნავია, რომ როგორც თანამედროვე ექსპერიმენტული მოდელირება აჩვენებს დედამიწის ბირთვის ზედაპირი არ არის გლუვი და მას დაახლოებით დედამიწის ზედაპირის მსგავსი მორფოლოგია გააჩნია.

ახალი საკვანძო არგუმენტირებული მტკიცებულების მოპოვების შემდეგ კვლავ გააქტიურდნენ მანტიური პლიუმური კონცეფციის მომხრეები და დაიწყო “დიდი პლიუმური დებატები”, რომლის შემდგომაც ეს კონცეფცია მნიშვნელოვან გეოლოგიურ თეორიად ჩამოაყალიბდა. ამჟამად დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერები აქტიურად ამუშავებენ მანტიური პლიუმების თეორიას, რომელიც მიუხედავად მთელი რიგი კონტრარგუმენტებისა (Foulger, 2005, 2010; Jones, 2005) მკვლევართა დიდი ნაწილის აზრით იგი უკვე პარადიგმას წარმოადგენს (DePaolo D., Manga M., 2003; Montelli et al., 2004; Montelli et al., 2006; Matyska, Yuen, 2007; Zhao, 2009 და სხვები).

დედამიწის კვლევის დღევანდელ ეტაპზე მანტიური პლიუმები განიხილება როგორც გარე ბირთვისა და ქვედა მანტიის საზღვარზე (D-შრე) წარმოქმნილი მძლავრი, მაღალტემპერატურული კონვექციული დინებები, რომელთაც სითბო და ქიმიური

ელემენტები გადააქვთ დედამიწის ზედაპირისაკენ. ამ თეორიის მხარდამჭერთა მიხედვით ზედა მანტიაში “ცხელი წერტილების” მაგმური კერების გენერაციას სწორედ აღმავალი მანტიური პლიუმური დინებები განაპირობებენ. უფრო მეტიც, ისინი სავსებით არგუმენტირებულად მიიჩნევენ, რომ ამ დინებებმა გადამწყვეტი როლი შეასრულეს ისეთი სუპერკონტინენტების დესტრუქციაში, როგორებიც იყო პანგეა და გონდვანა (DePaolo and Manga, 2003; Montelli et al., 2006).

დღეს, მაღალი მგრძობიარობის სეისმურ ტომოგრაფიაზე დაყრდნობით თანამედროვე მანტიურ პლიუმებად მიჩნეულია ჰავაის, ისლანდიის, წმინდა ელენეს, ასენსონის და ბევრი სხვა ანალოგიური ვულკანური კუნძულები (ნახ. 4). უფრო მეტიც, P და S სეისმური ტალღების სამ განზომილებიანი გამოსახულებები გვიჩვენებს, რომ წმინდა ელენეს და ასანსონის ვულკანური კუნძულები ერთდამავე პლიუმის განშტოებული ნაკადებისგან არიან ფორმირებული. ასეთივე სეისმური ტომოგრაფიული სურათი დაიკვირვება აზორისა და კანარის კუნძულების შემთხვევაშიც.

2. მანტიური პლიუმების თეორიის ძირითადი მტკიცებულებანი

ამჟამად მანტიური პლიუმური თეორიის მრავალი დამადასტურებელი არგუმენტი არსებობს, მაგრამ იგი დაფუძნებულია შემდეგ ძირითად მტკიცებულებებზე: ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებზე, გეომორფოლოგიაზე, ლითოსფეროს სიმძლავრის ანომალიებზე, დიდ მაგმურ პროვინციებზე, სუპერვულკანებზე, შიდაფილაქნურ ხაზობრივ ვულკანურ ქედებზე, გეოფიზიკურ ანომალიებზე, კეთილშობილი გაზების იზოტოპიაზე, გეოქიმიასა და თერმოდინამიკაზე.

2. 1. ლაბორატორიული ექსპერიმენტები

გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან დაიწყო პლიუმების კონცეფციის შესწავლა ლაბორატორიული ექსპერიმენტების მეშვეობით. ამ ექსპერიმენტების საფუძველზედ მანტიური პლიუმები განისაზღვრა როგორც სოკოსებური ფორმის სვეტისებური სისტემა, რომელსაც გააჩნია ფუძე ანუ მაგმური კერა, ამომყვანი არხი და ბოლქვისებური თავი (ნახ. 4). 1980-იანი წლების დასასრულს და 1990-იანი წლების დასაწყისში თერმულ მოდელებზე ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა (Farneti, Richards 1994) აჩვენა, რომ ბოლქვისებური თავი გაფართოებისას იტაცებს მანტიის მომიჯნავე არეალებს, ხოლო როდესაც იგი ეხება ლითოსფეროს იწყებს მის დეკომპრესირებულ ღლობას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება დიდი მოცულობის მაგმური მდნარები, რომელებიც ინტრუზივების და ექსტრუზივების სახით ლოკალიზდება დედამიწის ლითოსფეროში ან ახდენს მის სრულ ასიმილაციას. ამ ექსპერიმენტების

მათემატიკური მოდელირების მიხედვით ეს მაგმური აქტივობა უნდა გრძელდებოდეს მრავალი მილიონი წლის განმავლობაში, თუმცა რეალურად ეს პროცესი მიმდინარეობს უფრო მცირე დროის ინტერვალში, კერძოდ 1 მლ. წელიწადზე ნაკლებ დროში. მაგალითად: დეკანის ზეგანის ბაზალტები ინდოეთში და პარანას ზეგანის ბაზალტები სამხრეთ ამერიკაში.

2.2. გეომორფოლოგია

ბუნებრივია მანტიური დიაპირების შემოჭრა ლითოსფეროში აისახება მის ზედაპირზე და როგორც დაკვირვებები აჩვენებს გეომორფოლოგიური ფორმები დამოკიდებულია პლიუმური მაგმატიზმის განვითარების ეტაპებზე. ზოგადად გეომორფოლოგიური ცვლილებები ძალიან მარტივია და პირველი ათეული მილიონი წლისთვის იგი წარმოადგენს თაღურ აზევებებს, ხოლო შემდგომში იგი გადადის რიფტულ სტრუქტურებში (იხ. ნახ. უკანაკანზე), მაგრამ როგორც ჩანს ლითოსფეროში ასეთი ცვლილებები ყოველთვის არ აღინიშნება.

კონტინენტურ ლითოსფეროში პლიუმური თაღური აზევებები ქმნიან ფართო ზეგნებს, რომელთა რადიუსები ასეული კილომეტრებიდან 1000 კმ-ს სცილდება, ხოლო სიმაღლეები ასეული მეტრებიდან ათასეულ მეტრებს აღწევს ზღვის დონიდან. ასეთი ახალგაზრდა ზეგნების კარგი მაგალითია აპაგარას ზეგანი ჩრდილოეთ საჰარაში, ბაიკალის რიფტის სამხრეთ-დასავლეთის აზევება, ცენტრალური მონღოლეთის აზევება და სხვა. ძველი მანტიური პლიუმური აზევების მაგალითებად შეიძლება მოვიყვანოთ აღმოსავლეთ ციმბირის (2500000 კმ²), დეკანის (100000 კმ² –ზე მეტი) და კარრუს (1000000 კმ²-მდე) ბაზალტური ზეგნები. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ არსებობენ მინიპლიუმებიც, რომელთა კერებიც ზედა მანტიაში უნდა მდებარეობდეს და რომელთა რადიუსები 100 კმ-ს არ სცილდება და ბუნებრივია უფრო მცირე ცვლილებებს იწვევენ რელიეფში. ასეთი პლიუმების მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ანაჰიმის პლიუმი, კანადის ცენტრალურ ბრიტანულ კოლუმბიაში (Condie et al., 2001).

ოკეანურ ლითოსფეროში მანტიური პლიუმები თითქმის კონტინენტურ ლითოსფეროში არსებულის მსგავს გეომორფოლოგიურ ცვლილებებს იწვევენ. ისინი აბისალურ ღრმაობებში ქმნიან ანომალურად დადებით რელიეფებს ან ქედებს. კლასიკურ მაგალითებად შეიძლება დავასახელოთ ჰავაის და ისლანდიის ოკეანური აზევებები და ქედები. თანამედროვე ზოგიერთი მკვლევარი ფიქრობს, რომ კონტინენტურ ლითოსფეროში, მისი დიდი სიმძლავრის გამო, მანტიური პლიუმების მოქმედების შედეგად თაღური აზევებები ყოველთვის არ ვლინდება (Foulger and Jurdy, 2008). მანტიური პლიუმების სხვა მნიშვნელოვან გეომორფოლოგიურ გამოვლინებას წარმოადგენს

გრაბენული და რიფტული სტრუქტურები, რომლებიც მანტიური პლიუმების ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე ფორმირდებიან და რომელთა კლასიკურ მაგალითებად კონტინენტებზე შეიძლება დავასახელოთ რაინის გრაბენი დასავლეთ ევროპაში და ბაიკალის რიფტი ცენტრალურ აზიაში; ოკეანეებში - შუა ოკეანური ქედები, ხოლო მათ შორის გარდამავლად - ამოსავლეთ აფრიკის რიფტი (იხ. ნახ. უკანაკანზე).

2. 3. ლითოსფეროს სიმძლავრეების ანომალიები

როგორც ბოლო დროის გეოფიზიკური და გეოქიმიური მონაცემები გვიჩვენებს მანტიური პლიუმების გავლენა დედამიწის ლითოსფეროს აგებულებაზე გაცილებით მნიშვნელოვანია ვიდრე მეცნიერებს აქამდე მიაჩნდათ. ლითოსფეროს სიმძლავრის დადებითი თუ უარყოფითი ანომალიები აუხსნელი რჩებოდა მანტიური პლიუმების თეორიამდე. ამ კუთხით ტიპური შიდაფილაქნური მანტიური პლიუმის მოქმედების შესანიშნავ მაგალითს ჰავაის არქიპელაგი წარმოადგენს. აქ ოკეანური ქერქის სიმძლავრე 18-19 კმ-ს აღწევს (Wessel, 1993), მაშინ როცა ოკეანური ქერქის საშუალო სიმძლავრე 8 კმ-ს წარმოადგენს. ასეთივე ანომალიები დაიკვირვება მარკიზის კუნძულებზე, სადაც ოკეანური ქერქის სიმძლავრე 14 კმ-ს აღწევს (Coress et al, 1993). თავის დროზე დიდ გაუგებრობას იწვევდა ოკეანური ქერქის სიმძლავრე ისლანდიაში, რომელიც 30 კმ-ს აჭარბებს, რაც მოგვიანებით მანტიური პლიუმური მაგმატიზმით კარგად აიხსნა. შემდგომში გაირკვა, რომ ლითოსფეროს სიმძლავრეების ანომალურად გაზრდა ფიქსირდება დედამიწის ქერქის ბევრ სხვა რაიონში. პარანის ტრაპული პროვინციის შესწავლის დროს გეოფიზიკურმა კვლევებმა აჩვენა, რომ აქ მყარი ქანების სიმძლავრე 500 კმ-აჭარბებს (სეისმური ტალღების დიდი სიჩქარეები ფიქსირდება) და სცილდება მოჰოროვიჩის საზღვარს. ქერქის ასეთი ანომალური გასქელება აიხსნება შემოჭრილი მანტიური პლიუმებით მდნარების კრისტალიზაციით და გამყარებით ზემოდან ქვემოთ, რის შედეგადაც ფორმირდება გიგანტური განშრევებული პლუტონები, რომლებიც თავის მხრივ ბარიერი ხდება შემდგომი, ეფუზური მაგმური აქტიურობისათვის. ლითოსფეროს გასქელების ასეთი მექანიზმი გეოლოგიურ ლიტერატურაში დამკვიდრდა “underplating”-ის ტერმინით, რასაც ძნელია მოუძებნო ზუსტი ქართული შესატყვისი, თუმცა ჩემი აზრით ის შეიძლება ასე უდერდეს “ქვეგანშრევაბა”.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ “ქვეგანშრევაბის” იდეა აბსოლუტურად ეწინააღმდეგება იმ მოდელს, რომლის მიხედვითაც მანტიური პლიუმების განვითარებას მივყავართ რიფტოგენეზამდე (Zhao, 2009 და სხვა). აღსანიშნავია, რომ ორივე მოდელი ეყრდნობა

ფაქტობრივ მონაცემებს, მაგრამ მანტიური პლიუმების კონცეპცია ჯერ-ჯერობით ზუსტად ვერ ხსნის თუ როგორ ხდება ერთ შემთხვევაში ლითოსფეროს ანომალურად გასქელება და გიგანტური განმრევებული პლუტონების ფორმირება, ხოლო მეორე შემთხვევაში – ანომალური გათხელება, რიფტოგენეზი და ლითოსფეროს დესტრუქცია.

2. 4. დიდი მაგმური პროვინციები (დმპ)

როგორც ცნობილია დედამიწის ქერქის ზოგ უბანზე აღინიშნება მაფური მაგმური ქანების ინტრუზიული და ექსტრუზიული განსაკუთრებით დიდი დაგროვებები. აღსანიშნავია, რომ ფილების ტექტონიკის კონცეპციაში ასეთი გეოლოგიური წარმონაქმნების დეფინიცია არ არსებობს და ეს კონცეპცია თავისი მექანიზმიდან გამომდინარე მას არგუმენტირებულ ახსნას ვერ უძებნის. მ. კოფინმა და ო. ელდჰოლმმა (Coffin, Eldholm, 1992, 1994) ასეთი დიდი დაგროვებები დიდი მაგმური პროვინციების სახეწოდებით გამოყვეს (Large igneous provinces - LIP) და მათი ფორმირება პლიუმურ მაგმატიზმს დაუკავშირეს. ისინი ძირითადად წარმოდგენილი არიან ფუძე ქანებით და მრავალრიცხოვანი ამომყვანი ყელების საშუალებით ლითოსფეროს ზედაპირზე ვრცელდებიან ძალიან დიდ ფართობზე (100.000 კმ²-ზე მეტი), რომლებიც ფორმირდებიან 10 მილიონ წელზე ნაკლებ დროში (ბაზალტური ტრაპული განფენები და ოკეანური ბაზალტური ზეგნები).

მოგვიანებით ტერმინი “დიდი მაგმური პროვინციები” ყველასათვის მისაღები გახდა და იგი ამჟამად არა მარტო მაფურ ქანებს, არამედ ყველა ტიპის მაგმურ წარმონაქმნებს მოიცავს (Anderson, 2005; Campbell, 2005). მანტიური პლიუმების კონცეპციის მოწინააღმდეგენი დმპ ფორმირებას ფილების ტექტონიკას უკავშირებენ (Sheth, Hetu, 2007, Foulgen, 2010), თუმცა სტატისტიკური გამოთვლების მიხედვით შეუძლებელია ასეთი უზარმაზარი მაგმური მდნარების გენერაცია ლითოსფეროში და ზედა მანტიაში, იმ არეალებში სადაც ფილების ტექტონიკის თანახმად მოქმედებს ეს მექანიზმი. მანტიური პლიუმების კონცეპციის მომხრეთა მტკიცებით კი ასეთი დიდი მაგმური დაგროვებები მხოლოდ მძლავრ დრმა მანტიურ პლიუმურ დინებებს შეიძლება მოეცათ.

დმპ კლასიკურ მაგალითებად უნდა განვიხილოთ კონტინენტური ბაზალტური განფენები (მაგ. დეკანის ტრაპი ინდოეთში) და ოკეანური ბაზალტური ზეგნები (მაგ. ცენტრალური ატლანტიკის მაგმური პროვინცია) და დიდი დაიკური კომპლექსები (ვულკანური პროვინციების გადარეცხილი ფესვები). ზოგიერთი მკვლევარი დმპ-ს მიაკუთვნებს აგრეთვე დიდ გრანიტულ პროვინციებს, მაგალითად როგორცაა სამხრეთ

ამერიკის ანდების და ჩრდილო-დასავლეთი ამერიკის ოროგენების გრანოდიორიტული პლუტონები.

ხშირად დამკ მოიცავს რამოდენიმე მილიონ კმ²-ს, ხოლო მოცულობები 1 მლ. კმ³-ს აღარაბებს. ზოგჯერ ასეთი უზარმაზარი მასის ამოფრქვევა 1 მლ. წელზე ნაკლებ დროში ხდება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ მათი მომყოლი გაზები და ფერფლი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენდა ატმოსფეროს ფიზიკურ და ქიმიურ მდგომარეობაზე. მათ შორის უნდა გამოვეყოს სულფატური გაზების გაბნევა ატმოსფეროში, რაც იწვევდა სულფიდური მქავეების ფორმირებას, რომელებიც ატმოსფეროში სითბოს აღსორბირებას და ტემპერატურის მკვეთრ დაწევას ახდენდა. ყოველივე ამას ემატებოდა გაბნეული ვულკანური ფერფლის დიდი რაოდენობა, რაც თავის მხრივ კიდევ უფრო დაბლა სწევდა ატმოსფეროს ტემპერატურას. ეს კი ბიოსამყაროსთვის დამღუპველ შედეგებს იწვევდა. დინოზავრების მასიური გადაშენება ცარცული პერიოდის ბოლოს, თანამედროვე მონაცემების მიხედვით, სწორედ ამ დროისთვის დედამიწის ქერქში განვითარებულ დიდ პლიუმურ აქტივობას და მისგან გამოწვეულ ატმოსფეროს ქიმიური შედგენილობის შეცვლას და ტემპერატურის მკვეთრ დაწევას უნდა უკავშირდებოდეს.

2. 5. სუპერვულკანები

დიდი მაგმური პროვინციების თანამედროვე აქტიურ გამოვლინებას დედამიწის ზედაპირზე შესაძლოა სუპერვულკანები წარმოადგენენ. ეს ცნება და ტერმინი პირველად 2000 წელს იქნა გამოყენებული BBC-ს სატელევიზო გადაცემის დროს, ხოლო სამეცნიერო ლიტერატურაში მოგვიანებით დამკვიდრდა (Mason et al, 2004; Timmreck, 2006 და სხ). ამჟამად მიხნეულია, რომ სუპერვულკანები 1000-ჯერ უფრო მძლავრია ვიდრე ჩვეულებრივი ვულკანები. სუპერვულკანები მაშინ ფორმირდებიან როცა მაგმური კერიდან მდნარების და აირების მიგრაცია არ ხდება, რის გამოც შექმნილი დიდი წნევის გამო, ქერქი ფეთქდება და იმსხვრევა. ამ ტიპის სუპერვულკანი შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს ლითოსფერული ფილების საზღვარზე (მაგ. ტომბა) ან კონტინენტური ლითოსფეროს “ცხელ წერტილებში” (მაგ. იელოუსტონი). დღეისათვის დედამიწაზე ცნობილია მეოთხეული ასაკის ექვსი სუპერვულკანი: იელოსტონი, ღონგ ველეი, ველეის კალდერა – აშშ-ში, ტობა- ინდონეზიაში, ტაოპო-ახალ ზელანდიაში და აირა- იაპონიაში. როგორც გეოლოგიური მონაცემები აჩვენებს, სუპერვულკანის ბოლო ცნობილი ისტორიული ამოფრქვევა მოხდა ხმელთაშუა ზღვაში, დაახლოებით 3500 წლის წინ, კუნძულ კრეტასთან ახლოს, რომლისგან

გამოწვეულმა მიწისძვრამ და ცუნამმა მთლიანად გაანადგურა მინოსის კარგად განვითარებული ცივილიზაცია.

2. 6. შიდა ფილაქნური საზოგადოებრივი ვულკანური ქედები

დროში პროგრესირებადი შიდა ფილაქნური საზოგადოებრივი ვულკანური ქედები მანტიური პლიუმური თეორიით ახსნილია ტექტონიკური ფილის მოძრაობით ფიქსირებული პლიუმური აქტიური მაგმური ნაკადის თავზე (Morgan, 1972). როგორც შემდგომმა კვლევებმა გვიჩვენა ეს ქედები წარმოადგენენ ღრმა მანტიური კონვექციების “ფანჯრებს” დედამიწის ზედაპირზე (DePaolo, Manga, 2003; Kopper, Watts, 2010). აღსანიშნავია, რომ პირველად დაახლოებით ასეთივე დასკვნამდე მივიდა ჯ. ვილსონი (Wilson, 1963) პავაი-ემპერერის ვულკანური საზოგადოებრივი მთათა სისტემის შესწავლის შედეგად, იმ განსხვავებით რომ, იგი მაგმურ კერებს არ უკავშირებდა ღრმა მანტიურ კონვექციებს და ბუნებრივია ტერმინი მანტიური პლიუმები არ ჰქონდა გამოყენებული. მან როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, სავსებით წარმატებით, შემოიტანა ტერმინი “ცხელი წერტილები” (hot stop). დროში პროგრესირებად სხვა ასეთ საზოგადოებრივ ვულკანურ სისტემებს (“ცხელ წერტილებს”), წარმოადგენენ რეინიონის და ლაკადივის-ჩაგოსის, ლუისვილის, ტრისტანის და კუნას და სხვა ვულკანოგენური ქედები. მაგრამ პლიუმური მაგმატიზმის ბევრ “ცხელ წერტილებს” არ გააჩნიათ დროში პროგრესირებადი სივრცითი გამოსახულება, ანუ გარკვეული ერთი მიმართულებით არ ხდება საზოგადოებრივი ვულკანური ცენტრების ასაკის ზრდა. ასეთ პლიუმურ სისტემებს მიეკუთვნება მაგალითად: ისლანდია, გალაპავოსი და აზორესი. ასეთ შეუთავსებლობას ჰიპოთეზასა და დაკვირვების შედეგებს შორის მანტიური პლიუმური თეორიის მომხრეები “მანტიური ქარებით” და პლიუმური მდნარების ლატერალური მოძრაობით ხსნიან. თუ ეს ასეა, მაშინ მანტიური პლიუმი და ლითოსფერული ფილა ერთი მიმართულებით უნდა მოძრაობდნენ. თუ ამ იდეას გავიზიარებთ მაშინ შეიძლება დავუშვათ საწინააღმდეგო ვერსიაც, კერძოდ: დროში პროგრესირებადი ვულკანური ცენტრების ფორმირება განპირობებულია არა ლითოსფერული ფილის მოძრაობით ფიქსირებულ პლიუმური ნაკადის თავზე, არამედ თვით პლიუმური ნაკადების მოძრაობით ლითოსფერული ფილის ქვეშ, რასაც თვით მანტიური პლიუმური თეორიის არსიც ვერ უარყოფს.

2. 7. გეოფიზიკური ანომალიები

თანამედროვე სეისმური ტომოგრაფიის სამგანზომილებიან მოდელებზე მანტიაში აღინიშნება სეისმურად დაბალსიჩქარიანი დიაპირული ანომალური უბნები, რომელთა

დიაგნოზებიც რამოდენიმე ასეულ კილომეტრს შეადგენენ. ისინი გარეპირთვისა და ქვედა მანტიის საზღვრიდან მიემართებიან ლითოსფეროსკენ (იხ. ნახ. გარეკანზე) და ბევრ შემთხვევაში მათი გამოსავალი დედამიწის ზედაპირზე ემთხვევა “ცხელი წერტილების” რაიონებს. მანტიური პლიუმების თეორიის მიხედვით ეს ანომალური უბნები განიხილება როგორც შედარებით მაღალტემპერატორული მდნარი მასები, რომლებშიც სეისმური ტალღის სიჩქარე უფრო დაბალია ვიდრე გარემომცველ მასაში. აღსანიშნავია, რომ რკინით მდიდარ ქანებში სეისმურ ტალღებს ასევე გააჩნიათ უფრო დაბალი სიჩქარეები ვიდრე ამ ელემენტით ღარიბ ქანებს, რაც ასუსტებს სეისმური ტომოგრაფით მიღებულ “მაღალტემპერატურიანი მდნარი უბნების” მოდელს, თუმცა ჩვენი აზრით შესაძლებელია სეისმური ტალღების დაბალი სიჩქარეები განპირობებულია ორივე ფაქტორით, რადგანაც როგორც მანტიური პლიუმების გეოქიმიური კვლევები გვიჩვენებს ისინი შემცავ მანტიურ მასასთან შედარებით უფრო გამდიდრებულია რკინით.

თანამედროვე სეისმური ტომოგრაფია მანტიაში სუბდუქციურ ფილას 650 კმ სიღრმემდე აკონტურებს, მაგრამ არსებობს იშვიათი მონაცემებიც, რომელთა მიხედვითაც მათი ნარჩენები 1500 კმ-მდე დაიკვირვება, ხოლო უფრო ქვემოთ კი ლითოსფერული მასალა მანტიური კონვექციების შედეგად, როგორც ჩანს, ასიმილირებული ფორმით ჩაიტანება. მანტიური პლიუმების კერები (სუპერპლიუმები) კი კონტურდება დაახლოებით 3000 კმ სიღრმეზე, ქვედა მანტიისა და ბირთვის გარდამავალ ზონაში, რომელიც ცნობილია როგორც D-შრე (იხ. ნახ. 3). ამ მცირე სიმძლავრის შრეში, მანტიიდან ბირთვისკენ აღინიშნება ტემპერატურის მკვეთრი მატება, დაახლოებით 1000 C-თ და როგორც ვარაუდობენ სწორედ ამ ზონაში ფორმირდება პლიუმური მდნარები. ფაქტიურად D-შრე წარმოადგენს დედამიწის სტრუქტურის იმ დონეს, რომელიც გადაფარულია მანტიით და რომელშიც ბირთვული სითბური ენერჯის გამო ადგილი აქვს ნივთიერების პარციალურ ლღობას და დიდი მდნარების მასების ფორმირებას, საიდანაც აღმავალი მანტიური პლიუმები დედამიწის ზედაპირისკენ მოძრაობენ (DePaolo, Mananga, 2003; Trampert, 2004; Montelli et al., 2006; Zhao, 2009).

2. 8. კეთილშობილი (ინერტული) გაზები

მიჩნეულია, რომ ინერტული გაზი ${}^3\text{He}$ წარმოიქმნა “დიდი აფეთქების შედეგად”. მას შემდეგ დედამიწის შემადგენლობას ამ გაზით ძალიან მცირე რაოდენობა თუ დაემატა,

რადგანაც იგი უმნიშვნელო რაოდენობით გამოიყოფა U და Th ბუნებრივი რადიაქტიული დაშლის შედეგად (Anderson, 1998). დროთა განმავლობაში ზედა მანტიიდან და ქერქიდან ინტენსიური მიგრაციის გამო ^3He ხვდება ატმოსფეროში და შემდეგ იკარგება კოსმოსურ სივრცეში. განსხვავებით ^3He -გან ^4He არ განიცდის მიგრაციას და რის გამოც $^3\text{He}/^4\text{He}$ მაჩვენებელი დედამიწის ქერქში პროგრესულად მცირდება.

მანტიური პლიუმების გეოქიმიის კვლევის დროს ზოგიერთ მათგანში აღმოჩენილი იქნა აღნიშნული ფარდობის ძალიან მაღალი მაჩვენებელი $^3\text{He}/^4\text{He}(10^{-6}) > 10$ (ცხრ. 1), რაც მნიშვნელოვნად ამყარებს პლიუმების კონცეფციას. მისი მომხრეების სავსებით არგუმენტირებული მტკიცებულებით ქვედა მანტიური მასალიდან ხანგრძლივი დროის განმავლობაში ^3H ინტენსიური მიგრაცია არ ხდება და ამდენად $^3\text{He}/^4\text{He}$ პარამეტრიც იქ დიდი უნდა იყოს. მანტიურ პლიუმებში ამ პარამეტრის მაღალი მაჩვენებელი კი იმის ერთ-ერთი არგუმენტია, რომ მათი კერა ქვედა მანტიაში, ^3He მდიდარ გარემოში უნდა მდებარეობდეს. მანტიაში განაწილების და მიგრაციის მსგავსი სქემა აღინიშნება ზოგიერთ სხვა კეთილშობილ გაზებშიც, რომლებზედაც შეზღუდული მოცულობის გამო აქ ვერ შევჩერდებით.

ცხრილი 1. თანამედროვე და ძველი მანტიური პლიუმური ბაზალტების He, Sr, Nd და Pb იზოტოპური პარამეტრები

იზო. პარამ.	ისლანდია	ჰავაი	ფარი	დეკანი	ციმბირი
$^3\text{He}/^4\text{He} (10^{-6})$	30	10-20	3.4-15.0	3.1-13.2	1.4-12.7
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.7029- 0.7034	0.7026- 0.7035	0.7027- 0.7042	0.7044- 0.7093	0.7034- 0.7052
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.51296- 0.51317	0.51294- 0.51301	0.51285- 0.51315	0.51245- 0.51282	0.51239- 0.51239
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	—	18.4-20.0	18.0-19.1	18.4-19.3	—

2. 9. გეოქიმია

მანტიური პლიუმები ლითოსფეროსთან ურთიერთქმედების შედეგად ბევრ შემთხვევაში განიცდის კონტამინაციას, რის გამოც გეოქიმიური მონაცემები ყოველთვის არ ასახავს მის რეალურ ქიმიურ შედგენილობას. მიუხედავად აღნიშნულისა, აშკარაა რომ, პლიუმური ბაზალტების გეოქიმია განსხვავდება კუნძულთა რკალების ბაზალტებისგან. მათში საგრძნობლად მაღალია K_2O და Na_2O შემცველობები რის გამოც ისინი შესაძლებელია ტუტე ბაზალტების რიგს

მივაკუთვნოთ. პლიუმურ ბაზალტებში სუბდუქციური ზონის ბაზალტებთან შედარებით მაღალია აგრეთვე რკინის და ტიტანის შემცველობებიც და ამ ნიშნით ისინი მიეკუთვნებიან გარდამავალს ტუტე და ტოლეიტურ ბაზალტებს შორის (ცხრ. 2). მანტიური პლიუმების მნიშვნელოვან პარამეტრად შეიძლება ჩაითვალოს La/Sm ფარდობა, რომელიც საშუალოდ 1.8 ტოლია და Ce/Yb ფარდობა, რომელიც 7 ტოლია. ისინი უფრო გამდიდრებულნი არიან აგრეთვე მსუბუქი იშვიათი მიწაელემენტებით და ამობილური იშვიათი ელემენტებით. მანტიური პლიუმური ბაზალტები გადარიბებულია წყალში ხსნადი მობილური ელემენტებით, ისეთებით როგორცაა K, Pb, Th, Pb და სხვები, ხოლო გამდიდრებულნი არიან წყალში არა ხსნადი ელემენტებით, როგორცაა Nb, Ta, Ti და სხვა. პლიუმური თეორია ამ ფაქტს პლიუმების მიერ ლითოსფეროს ფილების ჩათრევით ხსნის, დანალექ საფართან ერთად, მანტიის ქვედა ფენებში, რომლის დროსაც ამ ფილებში იწყება დეჰიდრატაციის პროცესი, რაც იწვევს წყალში ხსნადი ელემენტები მიგრაციას დედამიწის ზედაპირისკენ, ხოლო წყალში უხსნადი ელემენტები მიყვებიან მანტიურ ნაკადებს ბირთვისკენ. შემდგომში ეს მდნარები, გამდიდრებულნი წყალში უხსნადი და გადარიბებული წყალში ხსნადი ელემენტებით, მანტიური პლიუმების ფორმით ბრუნდებიან დედამიწის ზედაპირისკენ.

ცხრილი 2. პარანას ტრაპული ბაზალტების (სამხრეთი ამერიკა) ქიმიური შედგენილობა და ზოგიერთი პეტროქიმიური და იზოტოპური პარამეტრი

პარამ.	1	2	3	4	5
TiO ₂	1.77±0.38	4.64±1.57	0.88	2.64	1.19
Fe ₂ O ₃	10.32±1.49	13.72±2.03	10.81	13.61	11.58
MgO	7.05±2.38	12.92±6.89	8.00	8.00	10.38
CaO/Al ₂ O ₃	0.72±0.21	1.74±1.07	0.68	0.67	0.82
La/Nb	2.01±0.71	1.10±0.34	1.61	1.56	0.68
Ti/Zr	42.75±13	54.43±19.44	61	85	109
Ti/Y	505±102	897±463	260	443	350
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.51182±0.0001	0.51232±0.0001	0.51220	0.51230	0.51306
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.7068±0.0006	0.7050±0.0005	0.7095	0.7055	0.7030

1,2 – ადრეცარცული დაბალ და მაღალტიტანიანი კალიუმისანი ბაზალტები;
3-4 – გვიანცარცული მსგავსი შედგენილობის ბაზალტები; 5- ოკეანური ქერქის პლიუმების საშ. მონაცემები (Gibson et al., 1996).

მანტიური პლიუმური ბაზალტებისთვის დამახასიათებელია აგრეთვე MgO მაღალი და ცვალებადი შემცველობები. როგორც წესი ამ ჟანგულის კონცენტრაცია პლიუმურ ბაზალტებში 2-10% ფარგლებშია, მაგრამ არის შემთხვევები როცა მისი შემცველობა 30% აღწევს. აღნიშნულის კარგი მაგალითია გრენლანდიის პლიუმური პიკრიტული ბაზალტები, სადაც MgO კონცენტრაცია 15-30% ფარგლებში მერყეობს. მაგნიუმის ასეთი ცვალებადი კონცენტრაციების ერთ-ერთი მიზეზი შეიძლება ის არის, რომ პირველადი პლიუმური ნაკადები მდიდარია მაგნიუმით და მხოლოდ ლითოსფერული მასალით კონტამინაციის შედეგად იწვევს დაბლა ამ ელემენტის შემცველობა. მანტიური პლიუმები მდიდარია აგრეთვე ისეთი იშვიათი ელემენტები როგორცაა Hg, Os და W.

2. 10. წარმოშობის P-T რეჟიმი

მანტიური პლიუმური ბაზალტები როგორც წესი გამდიდრებულია ოლივინიანი ბაზალტებით - პიკრიტებით. იშვიათად აღინიშნება ბაზალტური კომატიტებიც, რომლებიც ტიპურნი არიან ნეოპროტეროზოული წარმონაქმნებისათვის, მაგრამ გვხვდებიან ფანეროზოულშიც. პიკრიტების და კომატიტების წილი ძალიან ცვალებადია როგორც სხვადასხვა პლიუმურ ბაზალტებში, ასევე ერთი პლიუმის ფარგლებშიც კი. აღნიშნულის კარგი მაგალითია ჩრდილო-ატლანტიკური პლიუმური ბაზალტები. აქ დასავლეთ გრენლანდიაში პიკრიტებზე მოდის მთელი ბაზალტური ლავების 30-50%, ხოლო მათში MgO შემცველობა 15-30% ფარგლებში იცვლება, მაშინ როცა აღმოსავლეთ ნაწილში, ჰერბრიდებზე, პიკრიტებზე მოდის სულ 5%, ხოლო MgO შემცველობა მხოლოდ 10-18% შეადგენს (Gill et al, 1992). ამ ელემენტის ასეთივე ცვალებადი განაწილება აღინიშნება სხვა პლიუმურ ბაზალტებშიც.

მანტიური პლიუმების ექსტრუზიულ წარმონაქმნებში, ოლივინის მკვეთრად გამოხატული მაღალი შემცველობების გამო, უნდა დავუშვათ რომ მათი პირველადი მაგური ნაკადები წარმოდგენილი იყვნენ MgO მდიდარი მდნარებით. სხვადასხვა ავტორების გამოთვლების მიხედვით (Albarede, 1992; Eggins, 1992; Watson, Mckenzie, 1992) ასეთი მდნარების არსებობისთვის მანტიაში ტემპერატურა უნდა შეადგენდეს 1400-1600⁰ C, ხოლო წნევა 30-დან 50 კბ ფარგლებში უნდა იცვლებოდეს. აშკარაა, რომ მანტიური პლიუმური მდნარების ტემპერატურა 200-250⁰ C მაღალია ხოლო წნევა - 15-20 კბ-თ, ვიდრე ასტენოსფეროში და შუა ოკეანური ქედების ბაზალტებში. როგორც ჩანს, შემცავ გარემოსთან თერმობარული პარამეტრების ასეთი მნიშვნელოვანი სხვაობა გადამწყვეტ როლს თამაშობს მანტიური პლიუმების დინამიკაში.

3. მანტიური პლიუმების თეორიის ალტერნატიული მოდელები

მიუხედავად იმისა, რომ მანტიური პლიუმური თეორია ყველაზე საფუძვლიანად ხსნის “ცხელი წერტილების”, ოკეანური და კონტინენტური ზეგნების, ბაზალტური განფენების, რიფტული სტრუქტურების და სუპერუულკანების წარმოშობის მექანიზმს ბევრ მკვლევარს მაინც მიაჩნია, რომ დედამიწის ქერქში მიმდინარე გეოლოგიური მოვლენები განპირობებულია ზედა მანტიისა და ლითოსფეროს ტექტონიკურ-თერმული პროცესებით და გვთავაზობენ დედამიწის ქერქის ევოლუციის სხვა ალტერნატიულ მოდელებს. მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია:

1. **დედამიწის ქერქის განშრეგების (დელიმინაციის) მოდელი.** ამ მოდელის მიხედვით დედამიწის ქერქში ადგილი აქვს ქანთა დიდი მასების განშრეგებას, რაც იწვევს ლითოსფეროს გასქელებას და ასტენოსფეროში ჩაძირვას. ჩაძირული მყარი მასები კი იწევენ დნობას და მძლავრი ბაზალტური განფენების სახით ვრცელდებიან დედამიწის ზედაპირზე (Anderson, 2005).
2. **მეტეორიტული დარტყმის მოდელი.** ამ მოდელის მიხედვით დედამიწასთან დიდი მეტეორიტული შეჯახებები იწვევენ მისი ქერქის დნობას და მძლავრი ბაზალტური განფენების ფორმირებას (Jones, 2005).

განხილული მოდელები ლოგიკურ კრიტიკას ვერ უძლებენ, რადგანაც ისინი მხოლოდ კონკრეტული ტიპის ქერქისთვის არიან მისაღებნი, თანაც არც თუ არგუმენტირებულად ასაბუთებენ პროცესის მექანიზმს. მეტეორიტული დარტყმის მოდელი მისაღები შეიძლება იყოს ოკეანური ქერქის შემთხვევაში, მაგრამ თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ოკეანური ბაზალტური განფენები აშკარად წყლის ქვეშ ფორმირდებიან (რაზედაც მეტყველებს ბალიშა ლავები), მაშინ მეტეორიტული დარტყმა ვერც ერთ შემთხვევაში ვერ გამოიწვევდა ოკეანური ქერქის დნობას. გარდა ამისა, ჩვენ დღესაც ვხედავთ ოკეანის ფსკერზე ბაზალტური განფენების ფორმირებას, ყოველგვარი მეტეორიტული დარტყმის გარეშე. რაც შეეხება განშრეგების მოდელს იგი პრაქტიკულად ვერ ასაბუთებს თუ როგორ შეიძლება მივიღოთ კონტინენტური ლითოსფეროს დნობის შედეგად ბაზალტური შედგენილობის მდნარები; და ბოლოს, ვერცერთი განხილული მოდელი ვერ ხსნის დიდი მგრძნობიარობის მქონე თანამედროვე სეისმური ტომოგრაფიით დაფიქსირებული, მაღალტემპერატურული ღრმა მანტიური დიაპირული ნაკადების არსებობას.

4. მანტიური პლიუმები და მეტალოგენია

როგორც თანამედროვე კვლევები აჩვენებს მანტიური პლიუმებისა და ლითოსფეროს თერმოქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად ყალიბდება მნიშვნელოვანი მეტალური დაგროვებები, მათ შორის ისეთი გიგანტები, როგორცაა მაგალითად ნორილსკის ნიკელის საბადო (Dobretsov et al., 2009). ამ გეოლოგიურ პირობებში, საბადოების ფორმირებისთვის განსაკუთრებულ მნიშვნელობის ფაზას წარმოადგენს შემოჭრილი და ახლად ფორმირებული მაგმური სისტემის გაციების პერიოდი. ამ მომენტში მაგმის კრისტალიზაციის და დანალექი ქანების მეტამორფიზმის შედეგად ფორმირდება მძლავრი ჰიდროთერმული სისტემა, რომელიც მობილიზაციას ახდენს წყალში ხსნად მეტალებს და აგროვებს მათ მის ზემოთ არსებულ ბარიერებზე. მანტიური პლიუმების და მაგმური მადნიანი სისტემების თერმოქიმიურმა მოდალურმა ანალიზმა ციმბირში, ტარიმში, ემეიშანში და ცენტრალურ ევროპაში აჩვენა რომ დიდ მაგმურ პროვინციებთან დაკავშირებულია Cu-Ni-Pt, Fe-Pt მაგმური, Ni-Co-As, Au-As, Ag-Sb, Au-Hg, Sb-Hg ჰიდროთერმული და Cu სტრატოფორმული საბადოები (Dobretsov et al., 2009).

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს, ფილების ტექტონიკური პროცესების და მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის ურთიერთქმედება და მადნიანი მინერალიზაციის პროცესები. ამ თვალსაზრისით საინტერესო სამუშაოები ჩატარდა პალეოპროტეროზოულ აბიტობი-ვაგას ოროგენის ფარგლებში (ჩრდილოეთ კანადა) (Wyman, Kerrich, 2010). ამ შრომის მიხედვით აქ ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირშია ძველი სილიკატური გრანიტ-გნეისური ქერქი, მანტიური პლიუმური ტიპის ქანები (ტოლეიტური ბაზალტები და კომატიტები) და კუნძულთა რკალური ვულკანიტები (კირ-ტუტე ბაზალტები, ანდეზიტები, დაციტები, რიოლიტები). ქანთა ამ რთული ურთიერთქმედების მეტალოგენური ინდიკატორია ძირითად რღვევით სტრუქტურებთან და გრანიტოიდებთან დაკავშირებული ოქროს დიდი საბადოები და ალმასის შემცველი ლამპროფირული ძარღვები, რომლებიც კვეთენ გრანიტ-გნეისურ ქერქს.

წყნარი ოკეანის სარტყლის ოქროს ანომალურად მდიდარი საბადოების ფორმირების საინტერესო ანალიზი შემოგვთავაზეს ავსტრალიელმა ფ. ბერლეინმა და კანადელმა ს. პისარევსკიმ. ამ მკვლევარების მიხედვით (Bierlein, Pisarevsky, 2007) აღნიშნული საბადოების ფორმირება გამოიწვია მანტიური პლიუმური წარმოშობის ოქროთი მდიდარი ოკეანური ზეგნის დესტრუქციამ პერმულ დროში. წყნარი ოკეანური აუზის განვითარების გამო, დესტრუქციულმა ნაწილებმა დაახლოებით 120 მლ. წლის წინ მიაღწიეს ოპოზიციურ ჩინეთისა და ამერიკის კრატონების აკრეციულ კიდეებამდის. ოკეანური ზეგნების ეს ფრაგმენტები მრავალჯერდი გადახურების გამო გამდიდრებულნი იყვნენ ოქროთი და სუბდუქციის შედეგად ამ

ფრაგმენტებში ფორმირებულმა აქტიურმა ჰიდროთერმულმა სისტემამ მოახდინა ოქროს და სხვა წყალში ხსნად ელემენტების მობილიზაცია და დააგროვა ისინი მის ზემოთ განლაგებულ ქერქში. ასეთი მანტიური პლიუმური მოდელით ხსნიან ეს ავტორები ოქროთი მდიდარი პროვინციების ფორმირებას სიერრა ნევადის მთისწინეთში, კალიფორნიაში და ჩინეთის კრატონის აღმოსავლეთ კიდეზე.

როგორც ამ მცირე მიმოხილვიდან ჩანს მანტიური პლიუმების მოქმედებას ლითოსფეროში შეუძლიათ გამოიწვიონ დიდი მეტალოგენური ცვლილებები და მნიშვნელოვანი მეტალური საბადოების ფორმირებები. სამწუხაროდ ამ ტიპის მაგმატიზმის მეტალოგენია ჯერ არ არის სათანადოდ შესწავლილი და დამუშავებული, რასაც პრაქტიკული თვალსაზრისით მეტად დიდი მნიშვნელობა გააჩნია და რაც როგორც ჩანს ბევრ სიურპრიზებს გვიმზადებს.

5. კავკასიის ოროგენი და მანტიური პლიუმური მაგმატიზმი

მანტიური პლიუმების თეორიის გაცნობის შემდეგ კავკასიელ გეოლოგს ბუნებრივად უჩნდება კითხვა: არის თუ არა კავკასიაში მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის გამოვლინება? უდავოა, რომ კავკასიის ფანეროზოული ოროგენი წარმოადგენს მობილურ კოლაურ წარმონაქმნს, რომელიც ჩამოყალიბდა არაბეთის ფილის მოძრობით ევრაზიული კონტინენტის მიმართულებით და რომელიც აგებულია რამოდენიმე ტერეინისგან (Gamkrelidze, 1997; Гамкредидзе, Шенгелиа, 2005). ამ ფანეროზოული კონსოლიდაციის ოროგენში აღინიშნება ნეოპროტეროზოული ფრაგმენტებიც (Okrostsvaridze, Tormay, 2010), რაც დამახასიათებელია ტეთისური ანუ კოლიზიური ოროგენებისათვის (Windley, 1997). ეს ყველაფერი კი იმაზე მეტყველებს, რომ კავკასიის კოლიზიური ოროგენის ფორმირება განაპირობა ფილების ტექტონიკამ. თუ კავკასიის ოროგენის აგებულებას მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის კუთხით განვიხილავთ, მაშინ პირველ რიგში ყურადღებას მიიქცევს ჯავახეთის ვულკანური რაიონი, რომელიც ქმნის 1500-2000 მეტრი სიმაღლის ზეგანს და მოიცავს 25000 კმ² ფართობს. მასზე 100-ზე მეტი დიდი და პატარა ვულკანური აპარატია ჩამოყალიბებული, რომელთა მოქმედებამ მძლავრი ექსტრუზიული განფენების ფორმირება გამოიწვია. ვულკანური პროდუქტი ძირითადად წარმოდგენილია ბაზალტური შედგენილობის ლავებით, მაგრამ საწყის და ბოლო ეტაპზე მუავე წარმონაქმნები ჭარბობენ (Тутверидзе, 2004). ჯავახეთის ვულკანური ზეგანი თავისი გეომორფოლოგიით, წარმოშობის სიჩქარით, მაგმატიზმის განვითარებით და

შედგენილობით ძალიან ახლოსაა ზემოთ აღწერილ მანტიური პლიუმების მიერ შექმნილ ვულკანურ ზეგნებთან.

მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის თვალსაზრისით კიდევ უფრო საინტერესო სურათს გვიჩვენებს ამ ზეგანზე განვითარებული ახალგაზრდა, ნეოპლეისტოცენ-ჰოლოცენური სამსარის ვულკანური ქედი. იგი გაჭიმულია S-N მიმართულებით 40 კმ სიგრძეზე და მოიცავს 20-ზე მეტ ვულკანურ აპარატს. სამსრეთიდან ჩრდილოეთის მიმართულებით ქედის ძირითადი ვულკანური ცენტრები განლაგებულია ასეთი თანმიმდევრობით: დიდი აბული, გოდორები, ქოროღლი, სამსარი, შავნაბადა, ბებერიკლდე და თავკვეთილი. როგორც K-Ar იზოტოპურმა დათარიღებამ აჩვენა ეს ვულკანური ქედი ჩამოყალიბდა დაახლოებით 400 ათასიდან 30 ათასი წლის ინტერვალში (ნეოპლეისტოცენი - ჰოლოცენი), ხოლო მაგმის წყაროს Sr და Nd იზოტოპური მონაცემების მიხედვით წარმოადგენდა არადეპლექტირებული მანტიური რეზერვუარი ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.704209$; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5127$) (Lebedev et al., 2003). ამ შრომის მიხედვით სამსარის ქედის ვულკანური აპარატების ფორმირება მიმდინარეობდა სამსრეთიდან ჩრდილოეთის მიმართულებით, რადგანაც ამ ქედის უკიდურესი სამსრეთი ვულკანი დიდი აბული ყველაზე ძველი წარმონაქმნია (410 ათასი წელი; K-Ar დათარიღება), ხოლო ყველაზე ჩრდილოეთით მდებარე ვულკანი თავკვეთილი – ყველაზე ახალგაზრდა (30 ათასი წელი; K-Ar დათარიღება). აღსანიშნავია, რომ ვულკანების გაახალგაზრდავების ასეთივე სურათს გვიჩვენებს გეომორფოლოგიური ანალიზიც, რადგანაც სამსარის ქედის ვულკანურ რიგში, მხოლოდ თავკვეთილს გააჩნია კარგად გამოხატული, 200 მეტრი დიამეტრის და 70 მეტრი სიღრმის კალდერა, რაც მის ყველაზე ახალგაზრდა ასაკზე მეტყველებს.

ამ მოკლე აღწერიდან ჩანს, რომ სამსარის ვულკანური ქედი შიდაფილაქნური ხაზობრივი ვულკანური ქედების ყველა დამახასიათებელ ნიშანს ატარებს და ამ მხრივ იგი დიდ ინტერესს იწვევს. რა თქმა უნდა ეს ძალიან ზოგადი მოსაზრებაა, რომლის დამტკიცებას დიდი ფაქტობრივი მასალა და საფუძვლიანი ანალიზი სჭირდება. აღსანიშნავია, რომ იაღბუზის და ყაზბეგის ვულკანური ცენტრების ჰელიუმის იზოტოპური მონაცემები ღრმა მანტიურ პარამეტრებს პასუხობს (Polyak et al., 2000). თუ ეს ასეა ხომ არ არის დაკავშირებული კავკასიონის მეოთხეული ვულკანიზმი პლიუმურ მაგმურ აქტივობასთან? მითუმეტეს, რომ შეუძლებელია ამ ვულკანური ცენტრების მაგმური კერების ფორმირება სუბდუქციის პროცესს დაუუკავშიროთ, რადგანაც ყველა მონაცემების მიხედვით ამ პერიოდისთვის კავკასიონის ფარგლებში ეს პროცესი აღარ მიდინარეობს. გარდა აღნიშნულისა, ჩრდილოეთ კავკასიის პლიოცენური რეციკლინგური გრანიტოიდული მაგმატიზმი (მაგ.

ელჯურტის ინტრუზივი), შესაძლებელია დაკავშირებულია მანტიურ პლიუმურ აქტივობასთან.

რაც შეეხება პლიუმური მაგმატიზმის უფრო ძველ გამოვლინებას კავკასიაში და კერძოდ საქართველოში, ამ მხრივ განსაკუთრებულ ყურადღებას იწვევს ძირულის მასივზე მდ. ბუჯას ხეობაში ვარისკულ რკვიის გრანიტოიდულ ინტრუზივსა და ნეოპროტეროზოულ კვარცდიორიტულ გნეისებში შემოჭრილი ფუძე ინექციები, რომლებიც იწვევენ შემცავი ქანების მასიურ ასიმილაციას და ჰიბრიდული წარმონაქმნების ფორმირებას. ჩვენ საშუალება მოგვეცა შეგვესწავლა 40 მეტრი სიმძლავრის ერთ-ერთი სხეული, რომელიც შემოჭრილია რკვიის ინტრუზივსა და კვარცდიორიტულ გნეისებს შორის. იგი გაბრო-პერიდოტიტული შედგენილობისაა, რომელშიც SiO_2 შემცველობა 38-44% ფარგლებშია, ხოლო MgO კონცენტრაცია 18-30% ფარგლებში მერყეობს, რაც ზოგადად მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის გეოქიმიური მახასიათებლებია (Okrostsvavidze et al., 2006). ამ სხეულის სავარაუდო ასაკი პერმულტრიასული უნდა იყოს, დაახლოებით რიკოთიტების თანადროული; ვფიქრობთ თვით რიკოთიტებიც, რომლის აგებულებაშიც არადეპლექტირებული მანტიური მასალა ჭარბობს (Okrostsvavidze, Clarke, 2003), პლიუმური მაგმარიზმის თვალსაზრისით ძალზედ საინტერესო წარმონაქმნია.

რაც შეეხება კავკასიაში მანტიური პლიუმებისა და გამადნებების გენტურ კავშირს აქაც ბევრი საინტერესო მომენტები იკვეთება, მაგრამ მასზე არ შევჩერდებით, რადგანაც იგი ამ კვლევის მიზნებში არ შედის.

აი ასეთია ზოგადი შეხედულებები პლიუმურ მაგმურ აქტივობაზე კავკასიის ოროგენში, კერძოდ კი საქართველოს ნაწილში. რა თქმა უნდა ეს ძალიან საინტერესო და რთული საკითხია, რომელიც მომავალში სერიოზულ შესწავლას და განსჯას მოითხოვს.

დასკვნა

ამრიგად, თუ შევაჯერებთ და ანალიზს გავუკეთებთ განხილულ ფაქტობრივ მონაცემებს შეიძლება დავასკვნათ, რომ დედამიწაში რეალურად არსებობს ღრმა მანტიური კონვექციური დინებები, რომლებსაც სითბო და ქიმიური ელემენტები ამოაქვთ ქვედა მანტიიდან დედამიწის ზედაპირისკენ. კომპლექსურ არგუმენტებზე დაყრდნობით მათი კერები გარე ბირთვისა და ქვედა მანტიის საზღვარზე (D-შრეში) უნდა ვეძიოთ და არა სუბდუქციური ზონების ზედა მანტიურ არეალებში, როგორც ამას ფილდების ტექტონიკის თეორია ამტკიცებს. ექსპერიმენტალური მონაცემები,

ლითოსფეროს ანომალური გასქელებები და გათხელებები, დიდი მაგმური პროვინციები, სუპერკონტინენტები, კონტინენტური და ოკეანური რიფტული სტრუქტურები, სეისმური ტომოგრაფია, გეოქიმიური, იზოტოპური და თერმული პარამეტრები აშკარად ადასტურებენ მანტიური პლიუმური მაგმატიზმის გენერაციისა და დინამიკის აღწერილ მექანიზმს. ფაქტობრივი მონაცემების მთელი ეს ერთობლიობა მანტიური პლიუმების თეორიას პარადიგმის კატეგორიას აახლოებს, მაგრამ იგი ჯერ-ჯერობით საფუძვლიანად ვერ ხსნის თუ რა ფაქტორების გამოა, რომ მანტიური პლიუმების მოქმედების შედეგად ერთ შემთხვევაში ადგილი აქვს ლითოსფეროს ანომალურ გათხელებას, რიფტული სტრუქტურების წარმოქმნას და დესტრუქციას, ხოლო მეორე შემთხვევაში კი – გასქელებას, განშრეგებული პლუტონების და ანომალურად მძლავრი ლითოსფეროს ჩამოყალიბებას. ამჟამად ჩვენ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მანტიური აღმავალი დინებების დროს ადგილი აქვს ქერქის გათხელებას და დესტრუქციას, ხოლო დადმავალი დინებების დროს – ქერქის გასქელებას.

მაგრამ კვლევის ამ ეტაპზე, შეგვიძლია არგუმენტირებულად დავუშვათ, რომ დედამიწის ლითოსფეროში მიმდინარე გლობალური გეოლოგიური მოვლენები (ახალი ქერქის შექმნა და ძველის განადგურება, რიფტოგენეზი, კოლიზია, სუბდუქცია, დიდი მაგმური პროვინციები, სუპერკონტინენტები და სხვა) განპირობებულია მანტიის ქვედა ფენებში მიმდინარე თერმოქიმიური პროცესებით. კერძოდ, გარე ბირთვისა და ქვედა მანტის საზღვარზე მანტიური პლიუმური მდნარების ფორმირებით და თერმობარული დისბალანსით გამოწვეული მათი აღმავალი დინებებით დედამიწის ზედაპირისკენ, სადაც ისინი იწვევენ მნიშვნელოვან გეოლოგიურ ცვლილებებს და გლობალური კონვექციის გამო ისევ იძირებიან მანტის ქვედა ფენებში.

მადლობები

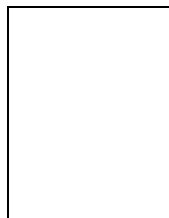
ავტორი დიდ მადლობას უხდის ყველა მკვლევარს ვინც გაეცნო ამ ნაშრომის ხელნაწერს, რის შემდეგაც გადაწყდა მისი გამოქვეყნება. ავტორი განსაკუთრებულ მადლობას უხდის რეცენზენტს ----- სასარგებლო რჩევებისთვის და შენიშვნებისთვის. ავტორი თავს მოვალედ თვლის გულწრფელი მადლიერება გამოხატოს საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიმართ, რომლის მიერ დაფინანსებულმა პროექტმა (№GNSF/ST09-1071-5-150) საშუალება მისცა ამ ნაშრომის გამოქვეყნების, ხოლო ლითოსფეროს საერთაშორისო პროგრამამ (ILP) კი საფუძველი ჩაუყარა ამ კვლევას.

ლიტერატურა

- Гамкрелидзе И.П., Шенгелия Д.М. 2005. Докембрийско-палеозойский региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и геодинамика Кавказа. Изд. “Науч.Мир”, М., 458.
- Тутберидзе Б.Д., 2004. Геология и Петрология Альпийского Позднеорогенного Магматизма Центральной Частии Кавказского Сегмента. Изд. ТГУ, Тбилиси, 339 с.
- Anderson D. L., 1998. A Model to explain the various paradox associated with mantle noble gas geochemistry. Proc. Nat. Acad. Sci. 95, pp.9087-9092.
- Anderson D. L., Natland J., H., 2005. A Brief Histoy of the Plume Hypothesis and its Competitions: Concept and Controversy. In: Geological Society of America Special Paper,N.388, pp119-145.
- Bierlein F. P., Pisarevsky S., 2010. Plume-Related Ocenic Plateaus as a Potential Source of Gold Mineralization. Canadian Journal of Earth Sciences, No. 47, pp. 523-536.
- Campbell I. M., 2005. Large Igneus Provinces and the Mantle Plume Hypothesis. Elements, v. 1, pp. 265-269.
- Coffin, M., Eldholm, O., 1992. Volcanism and continental break-up: a global compilation of large igneous provinces. In: "Magmatism and the Causes of Continental Breakup. Special Publication". Geological Society. London, 68, pp. 17-30.
- Coffin, M; Eldholm, O. 1994. "Large igneous provinces: crustal structure, dimensions, and external consequences". Reviews in Geophysics, 32, pp. 1–36. .
- Condie K. C., 1997. Plate Tectonic and Crust Evolution. Butterworth-Heinemann. 517 p.
- DePaolo D., Manga M., 2003. Deep Orgin of hotspots – the Mantle Plume Model. Science, 300, pp. 920-921.
- Dobretsov N., L. et al., 2009. A thermochemical model of Eurasian Permo-Triassic mantle plumes as a basis for prediction and exploration for Cu-Ni-PGE and rare-metal ore deposits. In “Large Igneous Provinces of Asia , Mantle Plumes and Metalogeny”, Novosibirsk, pp. 419-427.
- Ernst R. E., Buchan K. L., Cambell I. H., 2005. Frontiers in Large Igneous Province Research. In: “Mantle Plumes: Physical Processes, Chemical Signatures, Biological Effects”. Lithos 79, pp. 271-297.
- Farneti C. G., Richards M. A., 1994. Numerical Investigation of the Mantle plume Initiation Model for Flood basalts Events. J. Geophys. Res. N99, pp. 813-833.
- Foulger G. R., 2005. Plates, Plumes, and Paradigms. Geol. Soc. Amer., v. 388, 195 p.
- Foulger G. R., 2010. Plates vs Plumes: A Geological Controversy. Willey-BlacKwell, 352 p.

- Gamkrelidze I.P. 1997 Terrins of the Caucasus and adjacent areas. Bull.Acad.Sci. of Georgia. V.155. N. 3 p.75-81.
- Gibson S.A., Thompson R.N., Dickin A.P., Leonardos O.H., 1996. Erratum to high-Ti and low-Ti mafic potassic magmas: key to plume-lithosphere interactions and continental flood-basalt genesis. Earth Planet. Sci.Lett. v.141, pp.325-341.
- Hagstrum J., T., 2005. Antipodal Hotspots and Bipolar Catastrophes: Were Oceanic Large-Body Impact The Cause. Earth Planet. Sci. Lett., 236, pp.13-27.
- Hawkesworth C., Schersten A., 2007. Mantle Plumes and Geochemistry. Chemical Geology, v. 241, No. 3-4 , pp. 319-331.
- Jones A., 2005. Meteor Impacts as Triggers to Large Igneous Provinces. Elements, v.1, pp. 277-281.
- Kopper A. P., Watts A. B. 2010. Intraplate Seamounts as a Window into Deep Earth Processes. Oceanography, v.23, No.1, pp.104-120.
- Lebedev V. A. et al., 2003. The Samsari Volcanic Center as an Example of Recent Volkanizm in the Lesser Caucasus: K-Ar Geochronological and Sr-Nd Isotopic Data. Doklady Rarth Sciences, Vol. 393, No. 9, pp. 1323-1328.
- Mason B.G., Pyle D.M., Oppenheimer C., 2004. "The Size and Frequency of the Largest Explosive Eruptions on The Earth. Bulletin of Volcanology , V.66, N8, pp. 735–748.
- Matyska C., Yuen D. A., 2007. Plate, plume and planetary processes. Geol. Soc. Amer., 159 p.
- Montelli R., Nolet G., Dahlen F., Masters G., Engdahl E., Hung S., 2004. Finite-frequency Tomography Reveals a Variety of Plumes in the Mantle. Science, v.303, n.56.
- Montelli R., Nolet G., Dahlen F., Masters G., 2006. A Catalogue of Deep Mantle Plumes: New Results From Finite-Frequency Tomography. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 7, Q11007.
- Morgan W. J., 1971. Convection plumes in the lover mantle. Nature, v. 230, pp. 42q-45.
- Morgan W. J., 1972. Deep Mantle Convection Plumes and Plate Motion. Bull. Am. Assoc. Pet. Geol., v. 56, pp. 200-213.
- Okrostsvardize A., Clarke B., 2003. New Data of Isotopic Investigation of Magmatic Rocks of the Dzirula Massif of the Inner Caucasian Plate. Report Russ. Acad. Sci. Vol. 398, No.1, pp.117-121.
- Okrostsvardize A., ChageliSvili R., Shubitidze L., 2006. The First Data on Ultrabase Intrusive on the Budja Canyon (Dzirula Salient of the Inner Caucasian Massif), Bull. of the Georgian Acad. Sci. Vol. 173, No.3, pp. 533-536.
- Okrostsvardize A., Tormey D., 2010. Proterozoic to Phanerozoic Evolution of the Continental Crust: the Dzirula Uplift of the Inner Caucassian Mikroplate. "INTELEKT", Tbilisi, 121 p.
- Polyak B. G. et al., 2000. Helium isotopes, Tectonics and Heat flow in the Northern Caucasus. Geochem. Cosmochim. Acta. Vol. 64, pp. 1925-1944.

- Sheth, Hetu C., 2007. Large Igneous Provinces (LIPs): Definition, Recommended terminology, and a Hierarchical classification". *Earth-Science Reviews* 85, pp. 117–124.
- Timmreck C., Graf H.F., 2006. The initial dispersal and radiative forcing of a Northern Hemisphere mid-latitude super volcano: a model study. *Atmospheric Chemistry and Physics* N6, pp. 35–49.
- Trampert J., Yuen D., 2004. Probabilistic Tomography maps Chemical Heterogeneities Throughout the Lower Mantle. *Science*, 306, pp. 853-856.
- Wilson J. T., 1963. A possible origin of the Hawaiian islands. *Can. J. Phys.*, 41, pp. 863-870.
- Wyman D., Kerrich R., 2010. Mantle Plume – Volcanic Arc Interaction: Consequences for Magmarizm, Metallogeny, and Cratonizatin in the Abitibi and Wawa Subprovinces, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, No. 47, pp.565-589.
- Zhao D., 2009. Seismic Imaging of Mantle Plumes and Subducting Slabs. In “Large Igneous Provinces of Asia , Mantle Plumes and Metalogeny”, Novosibirsk, pp. 419-427.



სარჩევი

- წინასიტყვაობა -----
- შესავალი -----
1. მანტიური პლიუმების თეორიის ზოგადი მიმოხილვა -----
 2. მანტიური პლიუმების თეორიის ძირითადი მტკიცებულებანი -----
 2. 1. ლაბორატორიული ექსპერიმენტები -----
 2. 2. გეომორფოლოგია -----
 2. 3. ლითოსფეროს სიმძლავრის ანომალიები -----
 2. 4. დიდი მაგმური პროვინციები (დმპ) -----
 2. 5. სუპერგულკანები -----
 2. 6. შიდა ფილაქნური ხაზობრივი ვულკანური ქედები -----
 2. 7. გეოფიზიკური ანომალიები -----
 2. 8. კეთილშობილი (ინერტული) გაზები -----
 2. 9. გეოქიმია -----
 2. 10. წარმოშობის P-T რეჟიმი -----
 3. მანტიური პლიუმების თეორიის ალტერნატიული მოდელები -----
 4. მანტიური პლიუმები და მეტალოგენია -----
 5. კავკასიის ოროგენი და მანტიური პლიუმური მაგმატიზმი -----
- დასკვნა -----
- მადლობები -----
- ლიტერატურა -----

