

ახალი მიკროზონდული მონაცემები ხრამის კრისტალური მასივის ქანმაშენი მინერალების შესახებ

ხრამის კრისტალური მასივი წარმოადგენს შავი ზღვა - ცენტრალური ამიერკავკასიის ტერიტორიის ალპურისწინა ფუნდამენტის შვერილს. იგი მდებარეობს მდ. ხრამის აუზში, თბილისიდან სამხრეთ-დასავლეთით დაახლოებით 100 კმ-ის დაცილებით. მასივი აგებულია ძირითადად კამბრიულისწინა გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსით და გვიანვარისკული გრანიტოიდებით, აგრეთვე ვარისკულისწინა მეტაგაბროთი. მასივში აღინიშნება სერპენტიტების მცირე ზომის პროტრუზიული სხეული.

გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსის უდიდესი ნაწილი წარმოადგენილია ბიოტიტ-კორდიერიტიანი პლაგიოგნეისებით (პარაგნეისებით) და გრანიტული მიგმატიტებით, დამორჩილებულ როლს თამაშობს პლაგიომიგმატიტები და ბიოტიტ-რქატყუარიანი კვარციან-დიორიტული გნეისები (ორთოგნეისები) (Заридзе, Татришвили и др., 1965; Кекелия, Хуцишвили, 1980; Шенгелиა, Икошвили, 1998; Цуцунава, Икошвили, 1998; Гамკრелидзе, Шенгелиა, 2005).

კომპლექსში გამოვლენილია რეგიონული მეტამორფიზმის ორი ეტაპი – კამბრიულისწინა პროგრადული HT/LP და გვიანვარისკული რეტროგრადული LT/LP (Gamkrelidze, Shengelia, 2005; თედლიაშვილი და სხვ., 2012).

კამბრიულისწინა რეგიონული მეტამორფიზმის ინდიკატორული მინერალური პარაგენეზისებია: $\text{Crd}+\text{Bt}+\text{Qtz}\pm\text{Ort}$, $\text{Hbl}+\text{Bt}+\text{Pl}\pm\text{Qtz}$, $\text{Bt}+\text{Pl}\pm\text{Cum}\pm\text{Qtz}$.

ბიოტიტ-კორდიერიტიანი პლაგიოგნეისებისა და მიგმატიტების რესტიტების კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის ქანმაშენი მინერალებია: კორდიერიტი, პლაგიოკლაზი, ბიოტიტი, კვარცი და ორთოკლაზი. მიგმატიტებში დაფიქსირებულია კუმინგტონიტი. მინერალების მოკროზონდული გაზომვების შედეგები მოცემულია 1-ლ ცხრილში.

ხრამის მასივის გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსის მინერალების ქიმიური

შედგენილობა (მას.%)

ნომ. №	მინერალი	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10-ბ	Crd	48.52	0.07	33.45	8.87	0.15	6.02	0.51	0.35	0.68
	Crdp	46.08	0.07	32.61	8.25	0.14	6.79	0.38	0.43	0.81
	Bt	36.25	2.68	18.43	19.13	0.10	10.68	0	0.04	9.38
	Pl	56.14	0	27.25	0.09	0	0	10.54	5.87	0.12
	Ort	63.88	0	17.96	0.25	0.01	0	0.03	1.60	16.08
	Ms	48.83	0	34.65	0.15	0	2.33	0	0.70	10.21
	Chl	28.45	0.13	23.81	31.44	0.06	14.46	0.03	0.02	0.01
21-ბ	Grd	47.65	0.09	33.54	9.78	0.28	7.04	0.12	0.03	0.19
	Crdp	46.15	0.05	32.38	8.47	0.16	6.05	0.40	0.22	0.78
	Bt	37.13	3.12	18.70	21.43	0.05	9.97	0.03	0.12	9.41
	Pl	56.47	0.02	27.53	0.10	0	0	10.41	6.00	0.10
	Ort	64.66	0	27.00	0.08	0	0	0.02	0.88	16.16
	Ms	48.26	0	35.27	0.17	0	2.02	0	0.65	16.975
9	Hbl	44.52	0.76	10.00	18.14	0.50	9.53	11.30	1.30	0.51
	Pl	56.00	0	27.50	0.08	0.01	0	11.54	4.87	0.13
	Bt	35.54	2.92	17.00	22.99	0.20	8.62	1.00	0.39	7.90
	Chl	27.40	0.14	24.85	30.90	0.07	14.81	0.02	0.02	0.03
10	Hbl	45.90	0.50	10.91	13.66	0.14	10.24	11.32	1.54	0.40
	Pl	55.80	0.01	28.02	0	0	0.02	11.41	5.90	0.10
	Bt	35.70	2.48	14.24	21.88	33.	9.60	0.45	0.41	8.20
	Chl	27.90	0.12	23.60	31.24	0.02	15.03	0.02	0.03	0.02

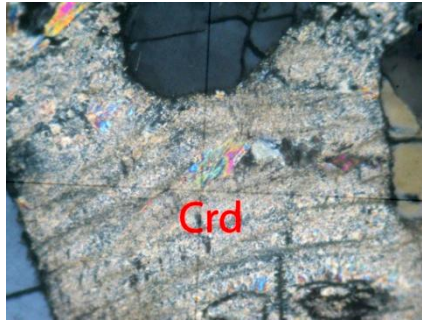
შენიშვნა: ნომ. №10-ბ - პლაგიოგნეისი ($\text{Crd}_{46}+\text{Crdp}+\text{Pl}^{44}+\text{Bt}_{50}+\text{Ort}^{18}+\text{Ms}+\text{C}+\text{Chl}_{40}$), ნომ. №21-ბ - პლაგიომიგმატიტის რესტიტი ($\text{Crd}_{44}+\text{Crdp}_{44}+\text{Pl}^{43}+\text{Bt}_{55}+\text{Ort}^{18}+\text{Ms}$), ნომ. №9 - კვარც-დიორიტული ორთოგნეისი ($\text{Pl}_{45}+\text{Hbl}_{55}+\text{Bt}_{60}$), ნომ. №10 - პლაგიომიგმატიტის ლეიკოკრატული ნაწილი ($\text{Pl}^{35}+\text{Hbl}_{40}+\text{Qtz}+\text{Bt}_{63}$).

Crdp - პინიტიზირებული კორდიერიტი; Crdp, Chl და Ms მეორადი მინერალებია.

მიკროზონდული ანალიზები შესრულებულია მოსკოვის ლომონოსოვის უნივერსიტეტის პეტროგრაფიის კათედრასთან არსებულ ლაბორატორიაში.

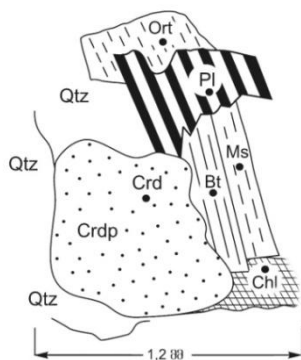
კორდიერიტი ქანის ერთ-ერთი მათავარი ქანმაშენი მინერალია. ზოგიერთ ნიმუშში მისი შემცველობა ქანში 50% აღემატება. მისი პორფირობლასტები უმრავლეს შემთხვევაში მთლიანად პინიტიზირებულია და ხშირად ძირითადი ქსოვილის შთაბეჭდილებასაც ტოვებს. ძალიან იშვიათად შეიმჩნევა კორდიერიტის საღი უბნები.

კორდიერიტის ხარჯზე პინიტის გარდა განვითარებულია გვიანი გენერაციის მუსკოვიტი, რკინის ჟანგი და იშვიათად ქლორიტი.

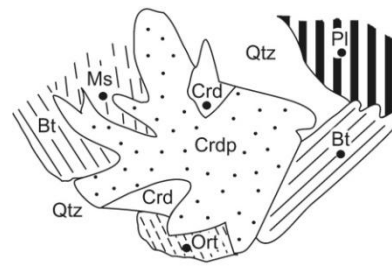


სურ. 1. პინიტიზირებული კორდიერიტი (ჯვარედინი ნიკ.) (მდ. ხრამის ხეობა)

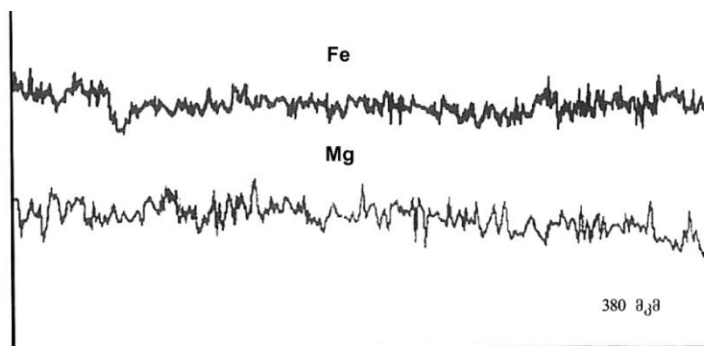
კორდიერიტის ქიმიური შედგენილობა (იხ. ცხრ. 1, სურ. 2, 3) და მიკროზონდული პროფილი (სურ. 4.) მოწმობს, რომ იგი საკმაოდ რკინიანია ($X_{Fe} \approx 44-46$), ჰომოგენურია და ზონალობა არ ახასიათებს.



სურ. 2. ბიოტიტ-კორდიერიტის პლაგიოგნეისის ჩანახატი მიკროზონდული კვლევისათვის (ნიმ.10-ბ; იხ. ცხრ.1)



სურ. 3. პლაგიომიგმატიტის რესტიტის ჩანახატი მიკროზონდული კვლევისათვის (ნიმ.21-ბ; იხ. ცხრ.1)



სურ. 4. კორდიერიტის მიკროზონდული პროფილი (ნიმ. 10-ბ)

ბიოტიტი უპირატესად გამუსკოვიტებული და გაქლორიტებულია. საღი ბიოტიტი მაღალტიტანიანია (TiO_2 2,68-3,12 მას.%, $X_{\text{Fe}}=50-55$, იხ. ცხრ. 1, სურ. 2, 3).

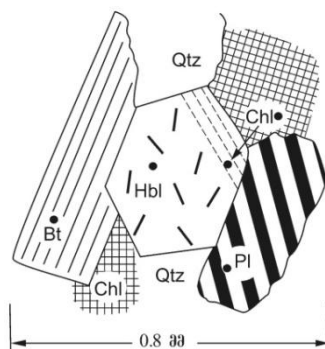
პლაგიოკლაზი ძირითადად პორფირობლასტების სახით გვხვდება. იგი ოლიგოკლაზ-ანდეზინის რიგისაა (იხ. ცხრ. 1, სურ. 2, 3), ძალიან ხშირად გასერიციტებული, გამუსკოვიტებული, გაალბიტებულია და ჩანაცვლებულია მესერიანი მიკროკლინით.

კალიუმის მინდვრის შპატი წარმოდგენილია უმესრო (მოუწესრიგებელი) პორფირობლასტებით (იხ. ცხრ. 1, სურ. 2, 3), რომლებშიც ალბიტის მოლეკულის ოდენობა 7-13%-ია, ხოლო - $2V - 59-71^\circ$ - ის ფარგლებშია. ქანში უფრო ჭარბად გვხვდება საღი მესერიანი (მაღალმოწესრიგებული) კალიუმის მინდვრის შპატი - მიკროკლინი, რომელიც მეორადი მინერალია და დაკავშირებულია გვიანვარისკულ გრანიტწარმოშობის პროცესთან. პირველადი კალიუმის მინდვრის შპატი, განსხვავებით კორდიერითიანი პლაგიოგენეზებისა და მიგმატიტებისა, ბიოტიტ-რქატყუარიან ორთოგენეზებში არ გვხვდება.

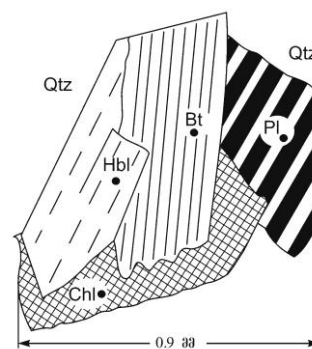
მუსკოვიტი, როგორც კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის პროდუქტი არ გვხვდება. ის ყოველთვის მეორადი პროდუქტია და ანაცვლებს კორდიერიტს, ბიოტიტსა და პლაგიოკლაზს. მუსკოვიტის ქიმიური შედგენილობა (იხ. ცხრ. 1, სურ. 2, 3), გვიჩვენებს, რომ მასში ფენგიტისა და პარაგონიტის რაოდენობა მცირეა.

ბიოტიტ-რქატყუარიანი კვარც-დიორიტული ორთოგენეზების მთავარი ქანმამენი მინერალებია: პლაგიოკლაზი, რქატყუარა და კვარცი. დამორჩილებულ როლს თამაშობს ბიოტიტი, იშვიათად გვხვდება უმესრო კალიუმის მინდვრის შპატი.

პლაგიოკლაზი უპირატესად გასერიციტებული, გასოსურიტებული და გაალბიტებულია. იგი ხშირად განიცდის მიკროკლინიზაციას. პლაგიოკლაზის რელიქტები ოლიგოკლაზ-ანდეზინის რიგისაა (იხ. ცხრ. 1, სურ. 5, 6).



სურ. 5. კვარც-დიორიტული ორთოგენეზის ჩანახატი მიკროზონდული კვლევისათვის (ნიმ. 9, იხ. ცხრ.1)



სურ. 6. პლაგიომიგმატიტის ლეიკოკრატული ნაწილი (ნიმ. 9, იხ. ცხრ. 1)

გაბიოტიტებული და გაქლორიტებულია. მისი რელიქტები ჩვეულებრივი მწვანე ან რუხი სახეობით არის წარმოდგენილი (იხ. ცხრ. 1, სურ. 5, 6).

ბიოტიტის საღი ფირფიტები იშვიათად გვხვდება. იგი გამუსკოვიტებული და გაქლორიტებულია. ბიოტიტი, ისევე როგორც პარაპლაგიოგნეისებში, აქაც მაღალტიტანიანი (TiO_2 2,48-2,92 მას.%, $X_{\text{Fe}}=60-63$; იხ. ცხრ. 1, სურ. 5, 6).

ხრამის კრისტალური მასივის კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის PT რეჟიმი შეფასებული გვაქვს რიგი გეოთერმომეტრისა და საყრდენი მინერალური პარაგენეზისების სტანდარტული პეტროგენული სქემით.

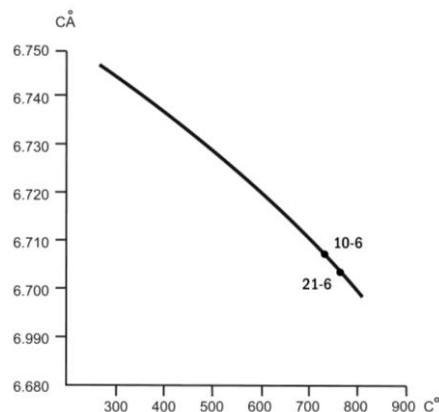
ჩვენ ვერ ვისარგებლეთ საყოველთაოდ მიღებული გრანატ-ბიოტიტიანი (Перчук, 1967; Перчук, Лаврентьева, 1983; Tompson, 1975; Goldman, Albee, 1977; Ferry, Spear, 1977; Kleemann, Reinhardt, 1994) და გრანატ-კორდიერიტიანი (Лаврентьева, Перчук, 1981) გეოთერმომეტრებით, რადგან ხრამის მასივის კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის პროდუქტებში არ გვხვდება ტიპური მეტამორფული მინერალი გრანატი. როგორც ცნობილია, გრანატისა და კორდიერიტის თანაარსებობა შეზღუდულია დაბალ- და საშუალოტემპერატურულ რეჟიმში. გრანატ-კორდიერიტიანი პარაგენეზისები ფართოდ არის გავრცელებული მაღალტემპერატურულ (ბიოტიტ-მუსკოვიტიანი გნეისებისა და რქაულების და ბიოტიტ-სილიმანიტ-კალიშპატური ფაციესები) და მაღალი და საშუალო წნევის პირობებში წარმოშობილ მეტამორფიტებში. მაღალტემპერატურულ და ძალიან დაბალი წნევის პირობებში ($P < 1.5$ კბარი) ამ მინარალების თანაარსებობა ძალიან იშვიათია. გრანატის, ასევე სილიმანიტის არ არსებობა ხრამის მასივის თიხამიწით მდიდარ მაღალტემპერატურულ ქანებში აიხსნება კორდიერიტის ფართო გავრცელებით და ერთობ დაბალი წნევით, რომელიც გაპირობებულია რეაქციით: $\text{Ms+Bt+Qtz} \rightarrow \text{Crd+Ksp+H}_2\text{O}$.

ხრამის კრისტალური მასივის პარაპლაგიოგნეისებისა და მიგმატიტების კამბრიულისწინა პროგრადული რეგიონული მეტამორფიზმის ტემპერატურული რეჟიმის დადგენისათვის ვისარგებლეთ გრაფიტული გეოთერმომეტრით (Шенгелиа и др., 1976, 1977^{1,2}). როგორც ცნობილია, ეს თერმომეტრი საიმედოა იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც პროგრადულად გარდაქმნილ ქანებს განცდილი აქვს დიაფტორეზი, ან რეტროგრადული პროცესი, რადგან იგი აფიქსირებს იმ მაქსიმალურ ტემპერატურას, რომელიც ადრე განიცადა ქანმა. ამ შემთხვევაში სხვა ცნობილი გეოთერმომეტრი

ასახავს მხოლოდ ბოლო მეტამორფიზმის ტემპერატურულ რეჟიმს. გრაფიტის ელემენტარული უჯრედის C ($\text{\AA}$) პარამეტრი გვიჩვენებს კონკრეტული ქანის მიერ განცდილ ყველაზე უფრო მაღალ ტემპერატურას და მისი პარამეტრი შენარჩუნებული იქნება რეტროგრადულად შეცვლილ ქანებშიც (Шенгелиა и др., 1976, 1977^{1,2}, Ахведиани, Шенгелиа, 1978). ამრიგად, გრაფიტული თერმომეტრის მონაცემები რეტროგრადულად გარდაქმნილ გნეისურ-მიგმატიური კომპლექსის ქანებში აფიქსირებს მხოლოდ პროგრადული რეგიონული მეტამორფიზმის ტემპერატურულ პირობებს.

გრაფიტული თერმომეტრის მონაცემები მოცემულია მე-7 სურათზე და მე-2 ცხრილში, რომელიც გვიჩვენებს, რომ ელემენტარული უჯრედის C ($\text{\AA}$) პარამეტრის მიხედვით (6,704-6,707) კამბრიულისწინა რეგიონული მეტამორფიზმის ტემპერატურული პირობები 720-760°C ფარგლებშია.

ასევე, გამოყენებულია ა. ვიტნის და ს. სტორმერის (Whitney, Stormer, 1997) მიერ დამუშავებული კალიშპატ-პლაგიოკლაზიანი თერმომეტრი. იგი დამოკიდებულია წონასწორულ კალიუმის მინდვრის შპატსა და პლაგიოკლაზს შორის ალბიტის მოლეკულის გადანაწილების კანონზომიერებაზე.



სურ. 7. გრაფიტის ელემენტარული უჯრედის C ($\text{\AA}$) პარამეტრის დამოკიდებულება ტემპერატურასთან (Шенгелиა и др., 1977²).

ნიმ. №10-ბ - პლაგიოგნეისი ($\text{Crd}_{46}+\text{Crdp}+\text{Pl}^{44}+\text{Bt}_{50}+\text{Ort}^{18}\pm\text{Ms}+\text{C}\pm\text{Chl}_{40}$), ნიმ. №21-ბ - პლაგიომიგმატიტის რესტიტი ($\text{Crd}_{44}+\text{Crdp}_{44}+\text{Pl}^{43}+\text{Bt}_{55}+\text{Ort}^{18}\pm\text{Ms}+\text{C}$)

ცხრილი 2.

ხრამის კრისტალური მასივის გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსის კამბრიულისწინა რეგიონული მეტამორფიზმის ტემპერატურული პარამეტრები

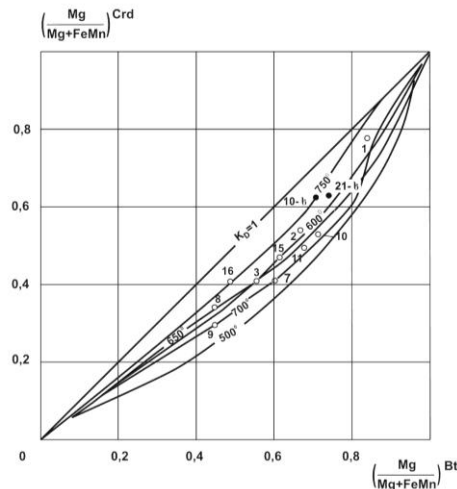
ნიმ. №	პარაგენეზისები	T°C, გეოთერმომეტრი				
		გრაფიტული	Pl-Ort	Bt-Crd	Hbl-Bt	Hbl-Pl

10-ბ	$\text{Crd}_{46}+\text{Crdp}_{54}+\text{Pl}^{44}+\text{Bt}_{50}+$ $+\text{Ort}^{18}\pm\text{Ms}+\text{C}\pm\text{Chl}_{40}$	720	730	750	-	-
21-ბ	$\text{Crd}_{44}+\text{Crdp}_{44}+\text{Pl}^{43}+$ $+\text{Bt}_{55}+\text{Ort}^{18}\pm\text{Ms}+\text{C}$	760	770	660	-	-
9	$\text{Pl}^{45}+\text{Hbl}+\text{Bt}+\text{Qtz}$	-	-	-	750	680
10	$\text{Pl}^{35}+\text{Hbl}+\text{Bt}+\text{Qtz}$	-	-	-	760	620

შენიშვნა: გეოთერმომეტრები – გრაფიტული (Шенгелиа и др., 1977), კალიშპატ-პლაგიოკლაზური (Whitney, Stormer, 1997), ბიოტიტ-კორდიერიტული (Перчук, 1970), რქატყუარა-ბიოტიტური (Перчук, 1970), Pl-Hbl (Перчук, 1970).

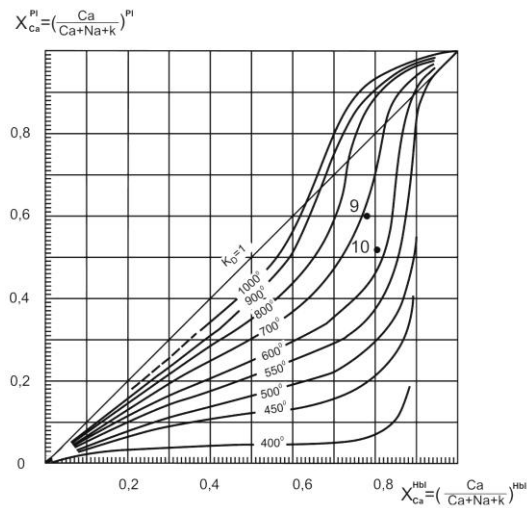
მე-2 ცხრილის მონაცემები მოწმობს, რომ გამოყენებული კალიშპატ-პლაგიოკლაზიანი გეოთერმომეტრები რამდენადმე უფრო მაღალ ტემპერატურას აფიქსირებს გრაფიტულ თერმომეტრთან შედარებით - 730-770°C.

კორდიერიტ-ბიოტიტიანი თერმომეტრი (Перчук, 1970) აფიქსირებს ტემპერატურას - 660-750°C ფარგლებში (იხ. სურ. 8; ცხრ. 2).

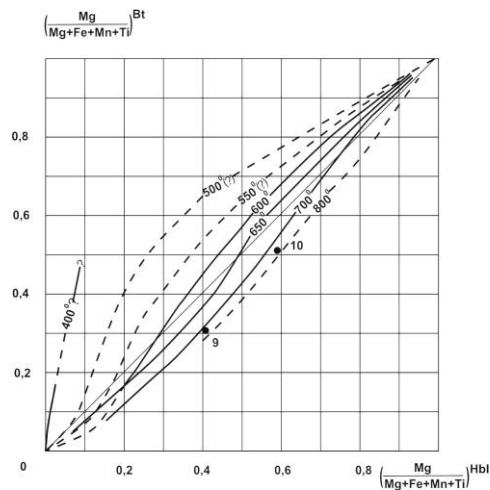


სურ. 8. კორდიერიტ-ბიოტიტური გეოთერმომეტრი

რქატყუარა-პლაგიოკლაზიანი და რქატყუარა-ბიოტიტური გეოთერმომეტრებით განსაზღვრულია კვარც-დიორიტული ორთოგნეისისა (ნიმ. №9) და პლაგიომიგმატიტის ლეიკოკრატული ნაწილის (ნიმ. №10) ფორმირების ტემპერატურა. იგი 620-720°C ინტერვალს მოიცავს (იხ. სურ. 9, 10; ცხრ. 2).



სურ. 9. რქატყუარა პლაგიოკლაზიანი გეოთერმომეტრი



სურ. 10. რქატყუარა-ბიოტიტური გეოთერმომეტრი

ამრიგად, ჩვენი მონაცემებით, ხრამის კრისტალური მასივის კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის ტემპერატურული პირობები - 720-770°C ეთანადება და იგი შეესაბამება მაღალტემპერატურულ ბიოტიტ-მუსკოვიტიანი გნეისების და ბიოტოტ-სილიმანიტ-კალიშპატური ფაციესის პარამეტრებს.

ხრამის კრისტალური მასივის გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსის კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის წნევის პირობების დადგენისთვის ჩვენ ვერ ვისარგებლეთ გეობარომეტრებით, რადგან დღეისათვის ყველა ცნობილი გეობარომეტრი გამოიყენება მაღალტემპერატურული ქანების პარაგენეზისებისთვის, სადაც განვითარებულია გრანატი და სილიმანიტი ერთად ან ცალ-ცალკე. ხრამის მასივის გნეისურ-მიგმატიტურ კომპლექსში კი გრანატი და სილიმანიტი (ანდალუზიტი) დაფიქსირებული არ არის. გნეისურ-მიგმატიტური

კომპლექსის ქანები თავისი ქიმიური შედგენილობით (Al_2O_3 , FeO , MgO მაღალი შემცველობა) ხელსაყრელია ამ მინერალების განვითარებისთვის. მისაღებია მათი ჩამოყალიბებისთვის ტემპერატურული რეჟიმიც - $720-770^\circ\text{C}$.

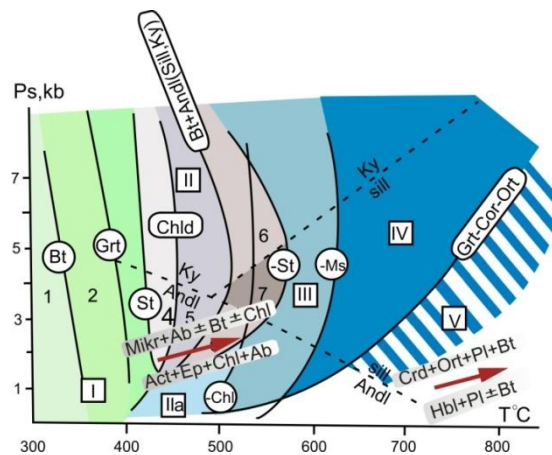
ერთად-ერთი მიზეზი, რომელიც აფერხებს ამ ორი ტიპური მეტამორფული მინერალის ჩამოყალიბებას, ჩვენი ვარაუდით, დაბალი წნევაა, რომელიც < 2 კბარზე. ამის საილუსტრაციოდ ჩვენ ვსარგებლობთ პეტროგენული სქემებით (Кориковский, 1979, Гамკრელიძე, Шенგелиა, 2005), რომლებიც გვიჩვენებს, რომ ხრამის კრისტალური მასივის გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსის ქანების კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმის წნევის პირობები $< 1,5$ კბარზე.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ხრამის კრისტალური მასივის ალპურისწინა წარმონაქმნებში დადგენილია რეგიონული მეტამორფიზმის პოლიციკლური ხასიათი (Шенგелиა, 2000; Гамკრელიძე, Шенგелиა, 2005; შენგელია და სხვ., 2006; თედლიაშვილი და სხვ., 2012), გამოყოფილია რეგიონული მეტამორფიზმის კამბრიულისწინა (გრენვილური) და გვიანვარისკული ეტაპები. რეგიონული მეტამორფიზმის ცალკეული ეტაპის ასაკი თარიღდება გეოლოგიურ-გეოქრონოლოგიური მონაცემებით.

ამრიგად, კამბრიულისწინა ეტაპის რეგიონული მეტამორფიზმი იზობარულ ხასიათს ატარებდა. წნევის ვარიაცია მეტად მცირე ფარგლებშია ($P < 1,5$ კბარზე), ხოლო ტემპერატურის დიაპაზონი უფრო ფართო ინტერვალით ($720-770^\circ\text{C}$) განისაზღვრებოდა. რეგიონული მეტამორფიზმის რეჟიმი გრანატ-კორდიერიტ-ორთოკლაზური და ბიოტიტ-სილიმანიტ-კალიშპატური ფაციესის პირობებს შეესაბამება (სურ.11). მეტამორფიზმის პროდუქტები: კორდიერიტიანი პლაგიოგნეისები, პლაგიოგრანიტები, პლაგიო- და გრანიტული მიგმატიტები, დამორჩილებული რაოდენობით რქატყუარიანი პლაგიოგრანიტები და ორთოკვარციანი დიორიტები, ქმნის სუბკონტინენტურ ქანებს, სადაც გაბატონებულია კალიუმით გაუჯერებელი მეტაპელიტები და მცირე ოდენობით კალიუმით გაჯერებული მეტაპელიტები, უმნიშვნელოა CaO მდიდარი ქანების ოდენობა. ეს უკანასკნელი გამორიცხავს ბაზიტების ფორმირების კერასთან დაკავშირებული გადახურებული აღმავალი ფლუიდური ჭავლების მნიშვნელოვან როლს რეგიონული მეტამორფიზმის წარმართვისათვის. ჩვენი ვარაუდით,

სუბდუქციურ სიტბოსთან ერთად, რეგიონული მეტამორფიზმის მთავარ სიტბოს წყაროს წარმოადგენდა რადიაქტიური სიტბო.

გვიანვარისკული რეგიონული მეტამორფიზმი ეტაპი მკვეთრად გამოხატული რეტროგრადული ხასიათისაა. იგი მიმდინარეობს სუბიზობარულ პირობებში და წინმსწრებ რეგიონულ მეტამორფიზმთან შედარებით დაბალტემპერატურული პროცესია ($T \approx 430-510^{\circ}\text{C}$, $P \approx 1.3-1.6$ კბარი; იხ. სურ. 11). იგი ხრამის კრისტალური მასივის ფარგლებში რეგიონული მასშტაბისაა და ზედ ედება ყველა გვიანვარისკულამდელ წარმონაქმნებს.



სურ. 11. ხრამის კრისტალური მასივის კამბრიულისწინა და გვიანვარისკული რეგიონული მეტამორფიზმის ტრენდები.

რომაული ციფრები - მეტამორფიზმის ფაციესები: I - მწვანე ფიქლების, II - სტავროლითური, III - ბიოტიტ-მუსკოვიტური გნეისების, IV - ბიოტიტ-სილიმანიტ-კალიშპატური, V - გრანატ-კორდიერიტ-კალიშპატური.

ციფრები წრებში: რეგიონული მეტამორფიზმის ეტაპები: 1 - გრენვილური, 2 - გვიანვარისკული.

ლიტერატურა:

1. Заридзе Г.М., Татришвили Н.Ф., Хмаладзе И.И., Дудаури О.З. Храмский массив. В кн.: Геологическое строение и металлогения Юго-Восточной Грузии //Тр. ГИН АН ГССР, 1965, нов.сер., вып.1, с.135-144.
2. Кекелия М.А., Хуцишвили О.Д. Петрологические особенности пород гнейсово-мigmatического комплекса Храмовского массива // Изв. геол. общ-ва Грузии, 1980, 9, с.109-115.
3. Д. Шенгелиა, Н. Икошвили (1998), Новые данные о гнейсах Храмовского кристаллического массива //Тр. Груз. технич. университета, №1 (417), с.72-79.
4. Цуцунава Т., Икошвили Н. О метаморфитах Храмовского кристаллического массива//Тр. Груз. техн. унив-та, 1998, №4(418), с.78-85.

5. Гамкრелидзе И., Шенгелиа Д. Докембрийско-палеозойский региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и геодинамика Кавказа, Москва, Научный Мир, 2005, 460 с.
6. ქ. თედლიაშვილი, ნ. კვახაძე, ნ. მაისურაძე, გ. ბერიძე «შავი ზღვა - ცენტრალური ამიერკავკასიის ტერიტორიის გნეისურ-მიგმატიტური კომპლექსების შედარებითი დახასიათება,“ მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, #2012, 1 (3), გვ. 30-38.
7. Л. Перчук (1967), Биотит-гранатовый геотермометр. - Докл. АН СССР, 177, №2.
8. Л. Перчук, И. Лаврентьева (1983), изд. АН СССР, М. "Наука," с. 17-89.
9. A. Thompson (1975), Mineral reactions in pelitic rocks: II. Calculation of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations. Am. Sci, 276.
10. D. Goldman, A. Albee (1977), Correlation of Mg/Fe partitioning between garnet and biotite with O^{18}/O^{16} partitioning between quartz and magnetite. Am. J. Sci. 277.
11. J. Ferry, F. Spear (1978), Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg between Biotite and Garnet. Contrib. Mineral. Petrol., 66.
12. U. Kleemann J. Reinhardt (1994), Europ. Mineral, V.6.P.925-941.
13. И. Лаврентьева, Л. Перчук (1981), Докл. АН СССР, 259, №3, с. 697-700.
14. Д. Шенгелиа, Р. Ахвледиани, Д. Кецохели (1976). Рентгеновское изучение углисто-графитового вещества в температурном интервале 300-850°C. Сообщ. АН ГССР, т.83, №3, с.661-664.
15. Шенгелиа Д.М., Ахвледиани Р.А., Солдатов И. А. Экспериментальные исследования зависимости параметров элементарной решетки С(Å) углисто-графитового вещества от температуры и давления. Сообщ. АН ГССР, 1977, 86, №2. с. 388-392.
16. Д. Шенгелиа, Р. Ахвледиани, Д. Кецохели (1977), Графитовый термометр // ДАН СССР, т.235, №6, с.1407-1409.
17. Р. Ахвледиани, Д. Кецохели, Д. Шенгелиа (1978), Графитовый термометр. Тезисы докл. III регион. петр. совещ. по Кавказу, Крыму и Карпат., с.20-21.
18. Whitney A. Games, Stormer C. John (1977), Am. Mineralogist. V. 62. p. 687-891.
19. Кориковский С., Фации метаморфизма метapelитов. М.: Наука, 1979, 260 с.
20. Шенгелиа Д.М. Моно- и полициклический региональный метаморфизм кристаллического основания Кавказа // ГИН АН Грузии. Нов. серия. Вып.115. С.282-299. 2000.
21. დ. შენგელია, ნ. ფოფორაძე, თ. ბუტულაშვილი (2006). ძირულისა და ხრამის კრისტალური მასივების (საქართველო) კამბრიულისწინა წარმონაქმნების შედარებითი დახასიათება. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. #2 (460). გვ. 24-29.