

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

© Z.B.Abdullayev, S.F.Hüseynova, T.Z.Təhməzova, G.A.Muradxanova, 2015

HİPERBAZİTLƏRİN SERPENTİNLƏŞMƏSİNDƏ DƏMİR FƏSİLƏSİ
ELEMENTLƏRİNİN İNDİKATOR ROLUZ.B.Abdullayev¹, S.F.Hüseynova¹, T.Z.Təhməzova², G.A.Muradxanova¹1 – Azərbaycan MEA Geologiya və Geofizika İnstitutu
AZ1143, Bakı, H.Cavid pros., 1192 – Azərbaycan MEA Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu
AZ1143, Bakı, H.Cavid pros., 113

Məqalədə dəmir fəsiləsi elementlərinin müxtəlif tip serpentinitlərdə paylanma qanunauyğunluqlarına əsaslanaraq, onların serpentinləşmə prosesində indikator rolu oynamalarından bəhs edilir. Göstərilir ki, geokimyəvi cəhətdən bu elementlər arasında sıx əlaqə mövcud olmasına baxmayaraq, serpentinləşmə prosesinin gedişində davranışları arasında xeyli fərq yaranır.

Qabbro-hipertbazit assosiasiyası süxurlarının geokimyasını araşdırmaqla nəinki onların filizlilik potensialı barədə fikir irəli sürmək olar, hətta, bu əmələgəlmələrin formalaşmasının fiziki-kimyəvi şəraitini bərpa etməklə, onların müasir yer qabığı şəraitində tutduğu mövqeyinin əsasını təyin etmək mümkündür. Bu cəhətdən aparılmış fundamental geokimyəvi tədqiqatlar problemin əhatə dairəsini xeyli genişləndirmiş, hipertbazitlərin genezisi məsələləri barəsində mühüm fikirlər irəli sürməyə şərait yaratmışdır. Bu sahədə dəmir qrupu elementlərinin geokimyəvi tədqiqi də mühüm rol oynamışdır (Абдуллаев, 2007; Babazadə, 2012). Bu qrupa daxil olan elementlər – titan, vanadium, xrom, manqan, nikel və kobalt, tədqiq olunan süxurlarda daima yaxınlıq təşkil edərək, onların əmələgəlmə şəraitindən və serpentinləşmə dərəcələrindən asılı olaraq miqdarı dəyişikliyə məruz qalırlar. Məhz bu elementlər özlərində onları daşıyan süxurlar barədə mantiyadan başlayaraq ta müasir hala gələnə qədər zəngin informasiya toplamaq qabiliyyətinə malikdir.

Digər regionların serpentinitlərinin geokimyəvi cəhətdən fundamental tədqiqi fonunda (Борданов и др., 2000; Велинский и др., 2004; Штейнберг и др., 1991) Kiçik Qafqazdakılar diqqətdən xeyli kənarda qalmışdır.

Ultraəsasli süxurlar üçün xarakterik olan bu koherent elementlər geokimyəvi və kristallokimyəvi cəhətdən geniş yayılmış maqnezium və dəmirə daha yaxın olduqları üçün məhz ultraəsasli süxurlarda mükəmməl paylanmalarına imkan yaranmışdır.

Bununla yanaşı, onu da qeyd etmək vacibdir ki, maqmatik süxurların ümumi fonunda bu qayda bariz surətdə özünü göstərsə də, bazit-ultrabazit assosiasiyası daxilində onlar arasında bəzi fərqlənmələr mövcuddur. Belə ki, əgər nikel və kobalt, bir qayda olaraq, daha əsasi tiplərdə təmərküzləşsə, titan və vanadium nisbətən turş tərkiblərə meyil edirlər. Məhz bu səbəbdən də, məxsusi davranışlarına əsaslanaraq, biz bu elementləri titan-vanadium, xrom-manqan və nikel-kobalt kimi cütliklərə ayırmağı məsləhət bilmişik.

Titan və vanadium. Dəmir qrupuna daxil olan bu iki element təbiətdə, demək olar ki, daima birlikdə rast gəlir. Titan, qabbroid massivlərinin əsas filizəmələgətirən elementi olmaqla yanaşı, digər maqmatik tiplərdə də müşahidə olunur. Dəmirli-maqneziumlu süxurəmələgətirən minerallarda səpələnmiş vəziyyətdə rast gəlməklə yanaşı, özünün ilmenit, sfen, rutil kimi xüsusi minerallarını yaradır. Bununla bərabər o, xromşpinelid, titanomaqnetit kimi filiz minerallarının da əsas qatışığını təşkil edir.

Ədəbiyyatda titanın ultrabazitlərdə paylanması barədə geniş məlumatın olmasına baxmayaraq, Kiçik Qafqaz istisnaqlıq təşkil etmişdir. Bəzi məlumatlara görə, bu süxurlarda titan müəyyən edilməmişdir. Təqdim olunan cədvəldən (1-ci cədvəl) göründüyü kimi, titanın minimal miqdarı (0,016%) apodunit serpentinitlərinin payına düşür. Elementin paylanma həddi çox dar çərçivədə (0,012-0,021) dəyişir. Statistik parametrlərinə görə, onun paylanması normal qanuna tabedir. Apoperidotit serpentinitlərində

1-ci cədvəl

Dəmir qrupu elementlərinin müxtəlif tip serpentinitlərdə paylanması, cəki %-i ilə

Komponentlər	Serpentinitlər	N	$X_{\min} - X_{\max}$	$\bar{X}$	S^2	V, %
TiO ₂	Apodunit	18	0,012 – 0,021	0,016	0,02	32
	Apoperidotit	27	0,030 – 0,091	0,044	0,02	39
	Apopiroksenit	17	0,037 – 0,210	0,112	0,05	40
V ₂ O ₅	Apodunit	21	0,0020 – 0,0037	0,003	0,02	18
	Apoperidotit	31	0,0021 – 0,0082	0,004	0,08	44
	Apopiroksenit	16	0,0040 – 0,0090	0,007	0,06	20
Cr ₂ O ₃	Apodunit	22	0,28 – 0,80	0,40	0,13	69
	Apoperidotit	24	0,16 – 0,46	0,30	0,08	81
	Apopiroksenit	11	0,20 – 0,58	0,33	0,07	62
MnO	Apodunit	22	0,06 – 0,19	0,13	0,03	24
	Apoperidotit	22	0,07 – 0,21	0,14	0,06	27
	Apopiroksenit	22	0,11 – 0,22	0,15	0,01	19
NiO	Apodunit	26	0,28 – 0,47	0,40	0,02	14
	Apoperidotit	34	0,20 – 0,35	0,32	0,11	38
	Apopiroksenit	23	0,05 – 0,18	0,16	0,07	21
CoO	Apodunit	26	0,017 – 0,050	0,036	0,01	27
	Apoperidotit	34	0,014 – 0,035	0,022	0,07	30
	Apopiroksenit	23	0,013 – 0,029	0,018	0,03	19

Qeyd: N – analizlərin sayı, $\bar{X}$ – orta miqdar, $X_{\min} - X_{\max}$ – miqdarların dəyişmə həddi, S^2 – dispersiya, V – variasiya əmsali

titanın paylanma həddi nisbətən genişdir (0,030-0,091). Orta miqdarı da xeyli fərqlidir (0,044%). Paylanması normal qanuna müvafiq gəlir. Bu cəhətdən apopiroksenit serpentinitləri daha gözə-çarpacaq dərəcədə fərqə malikdir. Belə ki, orta miqdar 0,112% olmaqla yanaşı, dəyişmə həddi də geniş miqyasdadır (0,037-0,210). Paylanmasının normal qanuna tabe olması bu süxurlara da aiddir.

Qeyd olunan qanunauyğunluğu baş tiplərin yarım tiplərində də aydın müşahidə etmək olar. Apoharsburgit serpentinitlərdən apoverlitlərə keçdikdə elementin orta miqdarı xeyli dəyişir (0,040-0,090%) (2-ci cədvəl). Apolersolitlər orta mövqe tutur (0,052%). Bütün bu yarım tiplərdə titanın paylanması normal qanuna tabedir.

Titanın geokimyəvi xüsusiyyətini daha geniş şərh etmək üçün onun süxurəmələgətirən və digər nadir elementlərə bağlılığı araşdırılıb. Bu məqsədlə korrelyasiya əlaqələri öyrənilmişdir (3-cü cədvəl). Buradan aydın olur ki, titan ümumilikdə bu və ya digər elementə yaxınlıq göstərir. Məsələn, titanla silisium arasındakı əlaqənin güclü olması yüksək korrelyasiya əmsalında (+0,78) özünü büruzə verir. Təxminən buna yaxın əlaqə forması (+0,60) alüminiumla da mövcuddur. Titanla maqnezium arasında mənfi korrelyasiya əlaqəsi aşkarlanıb ($R=-0,90$).

Nadir elementlər sırasında titanla daha sıx əlaqəsi olan vanadiumdur. Burada korrelyasiya əmsalı 0,90-a bərabərdir. Tərs mütənəsiblik isə nikel və kobaltla məxsusdur, müvafiq olaraq $R=0,89$ və $R=0,78$. Xrom və manqan isə bu cəhətdən qeyri-müəyyənlik təşkil edir. Daha doğrusu, titanla onların arasındakı korrelyasiya əmsalı kritik qiymətdən (+0,40) xeyli aşağıdır.

Bütün bunlar belə bir nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, serpentinitlərdə maqneziumun miqdarı azaldıqca, titanın qiyməti qanunauyğun surətdə artır. Beləliklə, müxtəlif tip və növ serpentinitlərdə titanın paylanma qanunauyğunluğunun onların törəndiyi ilkin mineralların tərkibindən tam asılı olduğu aşkar gözü çarpır.

Qeyd etmək vacibdir ki, tədqiq olunan nadir elementlərdən, geokimyəvi davranışına görə, titana ən yaxın olanı vanadiumla yanaşı, həm də xromdur. Birinci ilə titan serpentinitlərin bütün tiplərində və yarım tiplərində sıx əlaqəyə malikdir. Xromla isə ikili münasibət mövcuddur. Hər iki elementin ilkin süxurəmələgətirən mineralların tərkibinə izomorf qatışıq kimi daxil olduğu halda, onlar müsbət əlaqə yaradırlar. Lakin oksifiliz şəraitində bu elementlərin əlaqəsi pozulur. Burada xromun öz fərdi mineralını – xromiti əmələ gətirmək qabiliyyəti əsas rol oynayır.

2-ci cədvəl

Aposerpentinitlərin yarımtiplərində dəmir qrupu elementlərinin paylanması, cəki %-i ilə

Komponentlər	Serpentinitlər	N	$X_{\min} - X_{\max}$	$\bar{X}$	S^2	V, %
TiO ₂	Apoharsburgit	29	0,031 – 0,051	0,040	0,056	14
	Apolersolit	21	0,036 – 0,054	0,052	0,027	15
	Apoverlit	18	0,070 – 0,098	0,090	0,045	16
V ₂ O ₅	Apoharsburgit	30	0,022 – 0,0038	0,0030	0,025	19
	Apolersolit	20	0,0030 – 0,0052	0,0049	0,018	13
	Apoverlit	17	0,0068 – 0,0094	0,0080	0,009	17
Cr ₂ O ₃	Apoharsburgit	32	0,10 – 0,40	0,20	0,060	30
	Apolersolit	28	0,14 – 0,50	0,30	0,090	33
	Apoverlit	22	0,22 – 0,48	0,38	0,030	19
MnO	Apoharsburgit	26	0,06 – 0,20	0,13	0,030	25
	Apolersolit	24	0,06 – 0,24	0,14	0,040	31
	Apoverlit	17	0,11 – 0,28	0,18	0,030	16
NiO	Apoharsburgit	38	0,21 – 0,50	0,35	0,070	21
	Apolersolit	32	0,16 – 0,37	0,28	0,040	14
	Apoverlit	22	0,07 – 0,12	0,09	0,020	13
CoO	Apoharsburgit	38	0,017 – 0,050	0,028	0,006	24
	Apolersolit	30	0,014 – 0,026	0,020	0,003	14
	Apoverlit	20	0,013 – 0,017	0,012	0,002	16

Beləliklə, müəyyən olunmuşdur ki, mürəkkəb petrokimyəvi xüsusiyyətə malik olan ultrabazitlərdə titanın taleyi əsasən dəmirlə bağlıdır. İlkin məqamda titanın konsentrasiyası kifayət olmadığı üçün o, öz fərdi mineralını əmələ gətirə bilməmişdir. Bu element ilkin substratın diferensasiyası boyu sonuncu minerallarda toplanmağa meyil göstərmişdir. Məhz bunun nəticəsidir ki, bütün serpentinitlərdə titanın paylanma qanunauyğunluğu onların əmələ gəldikləri süxurların tərkibindən tam asılıdır.

Vanadium endogen proseslərdə tipik səpələnmə xüsusiyyətinə malikdir. Ultraəəsi süxurlarda geokimyəvi cəhətdən titana oxşar münasibət göstərir. İlkin məqamda az miqdarda olması və üçvalentli dəmir kimi aparıcı qohum elementlərin iştirakı səbəbindən ilkin maqmatik əmələgəlmələrin süxur-əmələgətirən minerallarına izomorf qatışıq kimi daxil olur. Məhz bu səbəbdən də o, öz fərdi minerallarını əmələ gətirə bilmir.

Bir sıra alimlərin fikrincə, elementin geokimyəvi davranışı tipik peridotit formasiyası süxurlarına mənsubiyyətlik göstərir. Platindaşıyan süxurlarda isə elementin yüksək miqdarı onun titanomaqnetit mineralında toplanması ilə izah edilir.

Kiçik Qafqazın müxtəlif tip serpentinitlərində vanadium tam qeyri-bərabər paylanma xüsusiyyətinə malikdir (1-ci cədvəl). Belə ki, apodunit ser-

pentinitlərində elementin orta miqdarı 0,003% olduğu halda, apoperidotit serpentinitlərində 0,004%-dir. Apopiroksenit serpentinitləri isə elementin daha yüksək miqdarına – 0,007% malikdir. Onu da qeyd etmək vacibdir ki, bu elementin müxtəlif tip serpentinitlərdə paylanma həddi çox dar çərçivədə dəyişir. Bu halı statistik əməliyyatlardakı dispersiyanın aşağı qiymətlərindən görmək olar. Variasiya əmsallarının qiymətinin 50%-dən aşağı olması isə elementin paylanmasının normal qanuna müvafiq gəlməsini göstərir. Bütün bu göstərilən faktiki materialların əsasında belə nəticəyə gəlmək olar ki, serpentinitlərin baş tiplərində bu element yalnız süxurəmələgətirən mineralların tərkibində izomorf qatışıq kimi rast gəlinir.

Bu mülahizənin daha etibarlı olmasını vanadiumun serpentinitlərin yarımtiplərində paylanma xüsusiyyətləri aşkar sübut edir (2-ci cədvəl). Belə ki, əgər vanadiumun maksimum miqdarı (0,009%) apoverlit serpentinitlərində toplanırsa, 0,004%-ə müvafiq gələn miqdar apoharsburgit serpentinitlərinə məxsusdur. Bu cəhətdən apolersolitlər aralıq mövqe tutur (0,005%). Təqdim olunan rəqəmlərdən göründüyü kimi, vanadiumun miqdarının tədricən qanunauyğun artması tendensiyası aposerpentinit yarımtiplərində də özünü göstərir. Eyni zamanda, onu da qeyd etmək lazımdır ki, elementin bütün

növlərdə paylanma həddi çox dar çərçivədə dəyişir. Məhz bunun nəticəsidir ki, statistik göstəricilər bu elementin paylanmasının normal qanuna tabe olmasını göstərir. Eyni zamanda, bu qanunauyğunluqdan belə nəticə çıxarmaq olar ki, serpentinitlərdə vanadiumun paylanma xarakteri onun süxurəmələgətirən minerallardakı miqdarından asılıdır. İlk lizarditlərdən, antiqoriti keçmək şərti ilə, xrizotil istiqamətində vanadiumun miqdarı artmağa meyllidir. Bu qanunauyğunluq digər regionların timsalında da təsdiq olunur. Vanadiumla aparıcı və nadir elementlər arasında korrelyasiya əlaqələri göstərir ki, o, alüminiumla ($R=+0,69$) və silisiumla tam müsbət korrelyasiya təşkil edirsə ($R=+0,74$), maqneziumla bu göstərici mənfi işarəlidir ($R=-0,87$). Daha doğrusu, serpentinitlərin maqneziumluğunun azalması bu elementin miqdarının çoxalması ilə nəticələnir.

Bütün bu dəlillərə və mövcud ədəbiyyat materiallarına istinad edərək, vanadiumun serpentinitlərdə paylanması barədə belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, bu element göstərilən süxurlarda yalnız süxurəmələgətirən mineralların tərkibinə izomorf olaraq, qohum elementləri əvəz etmək şərti ilə, daxil olur. Məhz bu səbəbdən də onun paylanması bu mineralların faiz miqdarının nisbətindən asılıdır.

Xrom və manqan. Digər dəmir qrupu elementlərindən fərqli olaraq bu iki element özünəməxsus davranış qaydalarına malikdir. Onlar bu cəhətdən nəinki digərlərindən, hətta öz aralarında da

kəskin fərqlənirlər. Belə ki, əgər xrom sırf mineraləmələgətirmə xüsusiyyətinə malikdirsə, manqan qeyri-adi formada bütün mineral birləşmələrində bərabər paylanma qabiliyyətlidir.

Xrom alpinotip ultrabazitlərin tipik aparıcı elementi hesab edilir. Onun serpentinitlərdə geokimyasına, digər elementlərə nisbətən, daha geniş diqqət yetirilmişdir. Bunun səbəbi, hər şeydən əvvəl, onunla bağlıdır ki, təbiətdə mövcud olan bütün xromit yataqları məhz yalnız ultrabazitlərlə bağlıdır.

Təqdim olunan cədvəldən (1-ci cədvəl) göründüyü kimi, serpentinitlərin baş tiplərində xromun paylanması qeyri-müəyyənlik təşkil edir. Belə ki, süxurəmələgətirən mineralların nisbətindən asılı olaraq xromun faiz miqdarının dəyişməsi müşahidə edilmir. Bu halı ilk olaraq eyniadlı serpentinitdə xromun paylanma həddinin çox geniş intervalda dəyişməsi göstərir. Məsələn, apodunit serpentinitlərində bu rəqəm 0,28-0,80% təşkil edir. Eyni vəziyyəti apoperidotit (0,16-0,46%) və apopiroksenit (0,20-0,58) haqqında da demək olar. Bundan başqa, sadalanan serpentinitlərdə xromun orta miqdarının qeyri-ardıcıl (0,40; 0,30; 0,33%) paylanması da bu qənaətə gəlməyə əsas verir.

Bu faktlar variasiya əmsallarının hər üç halda 50%-dən yüksək qiymətə malik olmaları ilə fikrimizin obyektivliyini təsdiq edir (müvafiq olaraq 69; 81 və 62%).

3-cü cədvəl

Petrogen və nadir elementlər arasında korrelyasiya əlaqəsi, $R_{2/8}=0,40$, $n=56$

Komponentlər	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	NiO	CoO
SiO ₂	1,00	<u>0,52</u>	0,39	-0,80	<u>0,78</u>	<u>0,74</u>	-0,25	0,40	-0,75	-0,58
Al ₂ O ₃		1,00	0,32	-0,68	<u>0,60</u>	<u>0,69</u>	0,10	0,40	-0,59	-0,63
Fe ₂ O ₃			1,00	0,30	0,33	-0,20	0,40	0,32	-0,25	-0,22
MgO				1,00	-0,90	-0,87	-0,28	-0,33	<u>0,92</u>	<u>0,87</u>
TiO ₂					1,00	<u>0,90</u>	0,23	0,26	-0,89	-0,78
V ₂ O ₅						1,00	-0,20	0,38	-0,88	-0,79
Cr ₂ O ₃							1,00	-0,22	0,12	0,18
MnO								1,00	0,38	0,27
NiO									1,00	<u>0,80</u>

Əldə edilmiş dəlillər göstərir ki, əgər apodunit serpentinitlərində xrom əsasən aksesor xromitin tərkibinə daxil olursa, apopiroksenit serpentinitlərində süxurəmələgətirən mineralların tərkibində izomorf qatışıq təşkil edir. Deməli, apodunit serpentinitlərində xromun toplayıcısı aksesor xromit olduğu halda, apopiroksenitlərdə bu rolu xrizotil mineralı daşıyır. Aparılan tədqiqatlar belə nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, müxtəlif tip serpentinitlərdə xromun paylanma qanunauyğunluğu ikili xarakter daşıyır: əgər xrom ilk olaraq filiz-oksidi yaratmaq meyilli olursa, maqmatik prosesin sonunda miqdarının xeyli azalması şəraitində süxurəmələgətirən minerallarda izomorf qatışıq şəklində rastlaşır. Serpentinitlərin yarım tiplərində xromun paylanma qanunauyğunluğu bir qədər aydın şəkildə görünür. Burada xromun paylanma həddi xeyli dar çərçivədə dəyişir (apoharsburgitdə 0,10-0,40%; apolersolitdə 0,14-0,50%; apoverlitdə isə 0,22-0,48%). Elementin orta miqdarı da göstərilən istiqamətdə tədricən artır (müvafiq olaraq: 0,20; 0,30; 0,38%). Digər tərəfdən, xromun paylanması normal qanuna tabe olur ($V=30; 33$ və 19%), yəni hər üç halda 50%-dən aşağıdır. Bu hal onu izah edir ki, apoperidotit serpentinitlərdə aksesor xromit iştirak etmədiyi üçün (yaxud çox cüzi olduğuna görə) element yalnız süxurəmələgətirən minerallarda paylanır.

Şərh etdiyimiz fikrin daha etibarlı olması xromla digər elementlər arasında mövcud olan korrelyasiya əmsallarının qiymətləri təmsalında da öz əksini tapır (3-cü cədvəl). Buradan göründüyü kimi, bu əmsal yalnız üçvalentli dəmirə kritik qiymətə müvafiq gəlir – $R_{2/\beta \text{ Cr-Fe}} = 0,40$. Digər elementlər üçün isə bu qiymət məna əmsalından xeyli aşağıdır və deməli, müxtəlif tip serpentinitlərdə xromla heç bir elementin arasında korrelyasiya mövcud deyil.

Bütün faktiki materiallar serpentinitlərdə xromun paylanma qanunu haqda belə fikrə gəlməyə imkan verir ki, maqmatik prosesin ilkin mərhələsində xrom fərdi mineralı – xromit halında formalaşmağa meyil göstərsə, son olaraq miqdarının kəskin azalması və daha mürəkkəb mineralların peyda olması sayəsində süxurəmələgətirən mineralların tərkibinə izomorf qatışıq kimi daxil olur.

Apoperidotit serpentinitlərində alüminium, titan və xrom arasında düz mütənasiblik mövcuddur ki, bunu apodunitlərə aid etmək mümkün deyil. Serpentinitlərin hər iki yarım tipində dəmirə maqnezium arasında tərs mütənasiblik mövcuddur. Dəmirə xrom arasındakı mütənasiblik isə apodunit serpentinitlərdə tərs, apoperidotit serpentinitlərdə isə düzdür. Məhz xromitin tərkibindəki elementlərin paylanma nisbətindən asılı olaraq, onlar alüminio-

xromit, subferroxromit və subferroalüminoxromit növlərinə ayrılırlar. Müxtəlif tip serpentinitlərin mikroskopik tədqiqi göstərir ki, onların xromitlərinin tərkibində bir sıra silikat minerallarının daxil olmalarına rast gəlinir. Bu hal onların hiperbazit assosiasiyası süxurlarının geniş diapazonlu əmələgəlmə mərhələləri boyu formalaşmasına sübutdur. Sonradan bu süxurlar metamorfizləşərkən xromşpinelidlər də dəyişir. Daha doğrusu, ilkin lizaritləşmə zamanı nisbi sabitlik saxlansa da, antiqoritləşmə və xrizotilləşmə nəticəsində onlar parçalanır və yenidən paylanmaya məruz qalırlar. Xromşpinelidlərin maqnetitləşmə prosesini də buraya aid etmək olar.

Manqan Yer qabığında geniş yayılmış ağır metallara daxildir. O, Mendeleyev cədvəlində dəmir qrupu elementlərini şərti olaraq iki müxtəlif xüsusiyyətli qrupa ayırır: bir tərəfdə titan və vanadium, digər tərəfdə isə, kobalt və nikel. Müxtəlifvalentli manqan ionları müvafiq şəraitlərdə ya özlərinin fərdi minerallarını əmələ gətirir, yaxud da çoxsaylı mineral assosiasiyalarının kristal şəbəkələrinə daxil olurlar. Məhz bu səbəbdəndir ki, klarkının qiyməti elə də yüksək rəqəmlə ifadə olunmadığından, metal müvafiq konsentrasiyalı yığıma malik deyil.

Manqanı dəmir qrupu elementlərindən və ümumilikdə bütün digər elementlərdən fərqləndirən ən başlıca xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, o, demək olar ki, bütün intruziv süxurların baş tiplərində bərabər, yaxud çox yaxın miqdarda paylanır. Məhz bu səbəbdəndir ki, onun geokimyasına çox az miqdarda elmi-tədqiqat işləri həsr edilmişdir. Bir qayda olaraq silikat analizlərinin dəlilləri əsas götürülür. Bununla yanaşı, bəzi tədqiqatçıların fikrincə, bazalt maqmasının məhsulu olan ultrabazitlərə nisbətən hiperbazit formasiyasında bu element daha geniş yayılmışdır. Yuxarıda təqdim olunan cədvəldən (1-ci cədvəl) göründüyü kimi, manqan bütün tip apohiperbazit serpentinitlərində bərabər miqdarda paylanmışdır: apodunit serpentinitlərində 0,13%, apoperidotit serpentinitlərində 0,14% və apopiroksenit serpentinitlərində 0,15%. Elementin minimum miqdarı 0,06%, maksimum miqdarı isə 0,22%-ə bərabərdir. Bu rəqəmlərdən birincisi apodunit serpentinitlərinə, ikincisi isə apopiroksenit serpentinitlərinə aiddir. Bu ənənə, çox zəif olsa da, elementin miqdarının peridotit maqmasının son məhsullarına doğru artma meyilli olduğunu göstərir. Onu da qeyd etmək vacibdir ki, bütün hallarda manqanın dəyişmə həddi çox dar çərçivədə baş verir. Göstərilən qaydaya apoperidotit növ serpentinitlərində daha aşkar riayət olunur. Elementin orta miqdarı apohars-

burgit serpentinitlərdə 0,13%, apolersolit serpentinitlərdə 0,14% və apoverlitlərdə 0,18%-dir. Minimum miqdarı 0,06%, maksimumu isə 0,28%-dir.

Statistik parametrlərdən görüldüyü kimi, bütün hallarda manqanın paylanması normal qanuna tabedir, yəni manqanın bütün tip və yarım tip apoverlitlərdə paylanması ardıcıl qanunauyğunluğa tabedir. Bütün bu deyilənlər manqanın geokimyası haqqında olan fikirləri bir daha təsdiq edir, yəni manqanın diferensiasiyası boyu manqan tədricən cüzi miqdarda artmağa meyil göstərir. Lakin bu artımın həcmi onun fərdi mineralını əmələ gətirməyə imkan vermədiyindən, süxurəmələgətirən mineralların kristal şəbəkəsinə izomorf qaydada daxil olur.

Bir sıra tədqiqatçılar tərəfindən müəyyən edilmişdir ki, manqanın ikivalentli dəmirə olan nisbəti sabit qiymətə malik olub 0,01-lə 0,1 arasında dəyişir. Tədqiq olunan serpentinitlərdə bu rəqəm 0,014-0,018-dir. Qeyd etməyi vacib bilir ki, dəmir ilə manqan arasında mövcud olan korrelyasiya əmsalı ilkin süxurlarda +0,73 olduğu halda, serpentinitləşmə nəticəsində bu asılılıq pozulur, yəni burada həmin əmsal kritik qiymətə (+0,34) yaxınlaşır ki, bu da serpentinitləşmə nəticəsində dəmirin bütövlükdə üçvalentli hala keçməsinə göstərir.

Manqanın Kiçik Qafqazın serpentinitlərində olan orta miqdarı Ural serpentinitləri ilə eynilik təşkil edir (0,11%).

Nikel və kobalt. Dəmir qrupu elementlərindən daima birgə rast gəlinlər nikel və kobaltıdır. Bütün geoloji əmələgəlmələrdə bu elementlərin nisbəti (10:1) sabitdir ki, bu əlamətdən də geokimyəvi meyar kimi istifadə olunur.

Nikel xromla yanaşı ultrabazitlərin aparıcı elementi sayılır. Maqmatik süxurlarda nikelin ən yüksək miqdarı məhz ultrabazitlərə xasdır. Bu süxurlarda o, əsasən, dəmirli-maqneziumlu silikat minerallarında maqneziumu izomorf əvəz edir.

Alınan nəticələr bir daha göstərir ki, ultrabazitlərdə maqneziumluluğun azalması ilə yanaşı, nikelin də miqdarı qanunauyğun surətdə azalır. Daha doğrusu, dunit-peridotit-piroksenit sırasında nikelin orta miqdarı müvafiq olaraq 0,37; 0,29; 0,09%-dir. Bu istiqamətdə süxurəmələgətirən mineralların faiz nisbətindən asılı olaraq elementin miqdarı da qanunauyğun dəyişir. Buradan aşkar olunur ki, tədqiq olunan süxurlarda nikel yalnız dəmirli-maqneziumlu mineralların kristal şəbəkəsinə izomorf şəkildə daxil olur. Digər tərəfdən, əgər nikellə maqnezium arasında düz mütənəsiblik mövcuddursa, dəmir ilə bu münasibət əks istiqamətə yönəlir. Bu deyilən qanunauyğunluq öz əksini nikel-kobalt nisbətlərində də göstərir. Daha doğrusu, dunit-peridotit-piro-

ksenit istiqamətində nisbi qiymət: $15,6 \rightarrow 13,1 \rightarrow 5,2$ kimi ifadə olunur.

Tədqiq olunan serpentinitlərdə nikelin paylanması ilkin süxurlarda mövcud olan qanunauyğunluğu təkrarlayır. Verilmiş cədvəldən (1-ci cədvəl) görüldüyü kimi, elementin maksimum orta qiyməti – 0,40% apodunit serpentinitlərinə aiddir. Tərəddüdətmə həddi də nisbətən geniş miqyasda dəyişir (0,28-0,47%). Məhz ən yüksək faiz miqdarı da apodunit serpentinitləri üçün səciyyəvidir. Statistik göstəricilər nikelin apodunit serpentinitlərdə paylanmasının normal qanuna tabe olmasını əks etdirir. Daha doğrusu, belə mülahizə yürütmək olar ki, serpentinitləşmə prosesi sayəsində ilkin silikat minerallarının tərkibindəki nikel bütövlükdə serpentinit mineralının tərkibinə köçürülmüşdür.

Bu qanunauyğunluq apoperidotit serpentinitlərinə də aiddir. Burada nikelin konsentrasiyası 0,20-0,35 arasında dəyişərək, orta hesabla 0,32% təşkil edir. Eyni zamanda, onun paylanması normal qanunla tənzimlənir. Apopiroksenit serpentinitlərində elementin miqdarı, gözlənilməli kimi, minimum həddədir – 0,07%. Məhz minimal miqdar da – 0,05% bu süxurlara aiddir.

Qeyd etdiyimiz kimi, ultrabazitlərdə kobaltın geokimyəvi xüsusiyyətləri nikelinkinə çox bənzəşə də, dəqiq təhlillər göstərir ki, xalkofilliyə bir qədər meyil göstərməsi ilə fərqlənir. Bütün maqmatik süxurlar içərisində onun ultrabazitlərdə daha yüksək paylanma qabiliyyətinə malik olması danılmaz faktıdır. Geniş tədqiqatlar sayəsində müəyyən olunmuşdur ki, müxtəlif regionların ultrabazitlərində kobaltın orta miqdarı sabit qiymətə malik olub 0,015-0,020% arasında dəyişir.

Kiçik Qafqazın ultrabazitlərinin tədqiqi də bu faktın reallığını bir daha təsdiq edir. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, süxurların əsasiliyi azaldıqca elementin miqdarı da paralel olaraq azalır. Bu da bir faktıdır ki, nikelə nisbətən bu xüsusiyyət bir qədər ləng baş verir. Bu halı sübut edən faktlardan biri də odur ki, əgər dunitlərdə Ni/Co nisbəti 15-ə bərabərsə, piroksenitlərdə bu rəqəm 5-ə kimi azalır.

Tədqiqat aparılan regionun serpentinitlərində kobaltın davranışı ilkin süxurlarındakına çox bənzəyir. 1-ci cədvəldən görüldüyü kimi, bu elementin maksimum orta qiyməti apodunit serpentinitlərinə aiddir (0,036%). Elementin 0,050%-ə bərabər olan maksimum miqdarını da bu serpentinitlər daşıyır. Kobaltın miqdarının tərəddüd həddi bir qədər geniş diapazona malikdir (0,017-0,050%). Apodunit serpentinitlərdə kobaltın miqdarının dispersiyası və variasiya əmsalının xeyli aşağı olması göstərir ki, onun paylanması normal qanunla tənzimlənir.

Apoperidotit serpentinitlərində kobaltın orta miqdarı bir qədər aşağı qiymətə malikdir – 0,022%. Tərəddüdətmə həddi isə 0,014-0,035% arasında dəyişir. Apodunitlərdə olduğu kimi, burada da statistik parametrlərin dəlilləri paylanmanın normal qanuna tabeliyini təsdiqləyir.

Serpentinitlərin əsasiliyinin zəiflədiyi istiqamətdə kobaltın da miqdarca azalması faktı aşkardır. Belə ki, məhz onun ən aşağı qiyməti apopiroksenit serpentinitlərinə məxsusdur. Elementin miqdarı 0,013-0,029% arasında tərəddüd edir. Kobaltın minimum orta qiyməti də apopiroksenit serpentinitlərinə aiddir. Digər növ aposerpentinitlər kimi bu kəmiyyət burada da normal qanuna tabedir.

Təqdim olunan bütün dəlillərdən görünür ki, Kiçik Qafqazın serpentinitlərində kobaltın orta miqdarı onun Yer qabığındakı klarkına çox yaxındır. Digər regionların serpentinitləri ilə müqayisədə isə bir qədər fərq müşahidə olunur. Lakin bu fərq nəzərəcarpacaq dərəcədə yüksək deyil. Kobaltla digər elementlər arasında hesablanmış korrelyasiya əmsalından görünür ki, o, maqneziumla müsbət (+0,87), alüminium və silisiumla isə mənfi qiymətə (müvafiq olaraq – 0,63 və -0,58) malikdir. Dəmir qrupu elementlərindən nikellə daha sıx əlaqəyə malikdir (+0,80). Bu cəhətdən titan və vanadium əks mövqə tutur (-0,78; -0,79).

Kobaltın müxtəlif tip serpentinitlərdə paylanma qanunauyğunluğunu aposerpentinit yarımtiplərində də müşahidə etmək mümkündür. Belə ki, elementin maksimum miqdarı – 0,050% apoharsburgit serpentinitlərinə aiddirsə, minimum miqdarı – 0,013% apoverlit serpentinitlərində müşahidə olunur. Bu faktı kobaltın orta miqdarları timsalında aşkar müşahidə etmək olur: apoharsburgit serpentinitləri – 0,028%, apoversolit serpentinitləri – 0,020%, apoverlit serpentinitlərində isə – 0,012%.

Təqdim olunan dəlillərdən göründüyü kimi, kobalt, müxtəlif yarımtip serpentinitlərdə paylanmasına görə, özünün nikellə daha yaxın münasibət göstərməsini büruzə verir. Bununla yanaşı, nikeldən fərqli olaraq, onun ilkin dəmirli-maqneziumlu silikatların daha əsasi növlərində toplanması da faktdır.

Dəmir qrupu elementlərinin serpentinitlərdə geokimyəvi davranışı barədə, tədqiqatların yekunu

olaraq, belə qənaətə gəlmək olar ki, bu elementlər geokimyəvi cəhətdən eyni bir qrupa daxil olmalarına baxmayaraq, müxtəlif növ apohiperbazit serpentinitlərdə onların paylanma qanunauyğunluqları prosesin gedişi nəticəsində öz aralarında müəyyən assosiasiyalar təşkil edirlər. Belə ki, əgər xrom, kobalt və nikel apodunit serpentinitlərində toplanmağa meyillidirlərsə, titan və vanadium apopiroksenit serpentinitlərində toplanmağa meyil göstərirlər. Bundan başqa, əgər dəmir qrupu elementlərinin əksəriyyəti serpentinit minerallarının tərkibinə izomorf daxil olurlarsa, xrom, eyni zamanda, özünün xüsusi mineralı olan aksesor xromit formasında da təzahür edir. Digər tərəfdən, manqanın davranışındakı qeyri-adilik nəzəri cəlb edir. Serpentinitlərin mineraloji tərkibindən asılı olmayaraq, o, bütün növlərdə stabil miqdarı ilə fərqlənir. Əgər nikel və kobalt daha çox maqneziumlu silikatlara meyillidirlərsə, titan, vanadium və xrom alüminium və kalsiumla zəngin süxurəmələgətirən minerallarda üstünlük təşkil edir. Deməli, dəmir qrupu elementlərinin bu qayda ilə paylanması, onların aparıcı elementlərlə olan münasibətlərinin nəticəsi kimi qiymətləndirilərək, indikator rolunu daşıdıqlarını aşkar göstərir.

ƏDƏBİYYAT

- BABAZADƏ, V.M. 2012. Faydalı qazıntıların geologiyası. II hissə. Bakı. 489 s.
- АБДУЛЛАЕВ, З.Б., ГУСЕЙНОВА, С.Ф. 1987. Геохимия гипербазитов Малого Кавказа. Элм. Баку. 200 с.
- АБДУЛЛАЕВ, З.Б. 2007. Альпинотипные гипербазиты Азербайджана. Nafta-Press. Баку. 295 с.
- БОГДАНОВ, Ю.А., БОРТНИКОВ, Н.С., ГУРВИЧ, Е.Г. и др. 2000. Гидротермальные поля, приуроченные к serpentinitовым массивам Срединно-Атлантического хребта. Металлогения древних и современных океанов. УрО РАН. Миас. 49-53.
- ВЕЛИНСКИЙ, В.В., ТРЕТЬЯКОВ, Г.А., СИМОНОВ, В.А. 2004. Физико-химическое моделирование процесса серпентинизации и роль океанических serpentinitов в гидротермальном рудообразовании. *Известия Томского политехнического университета*, 307, 1.
- ГЛАЗУНОВ, О.М. 1981. Геохимия и рудоносность гипербазитов и габброидов. Наука. Новосибирск. 190 с.
- ШТЕЙНБЕРГ, Д.С., ЧАЩУХИН, И.С., КОВАЛЬЧУК, А.И. 1991. Океанические воды – агент серпентинизации альпинотипных ультрамафитов континентов. *ДАН СССР*, 320, 3, 713-715.

Məqaləyə akademik V.M.Babazadə rəy vermişdir.