

Коефициенти на разпределение минерал/основна маса за елементи-следи в Боровишките вулкански скали

Методи Караджов, Ирина Караджова

Караджов М., Караджова И. 1998. Crystal/groundmass partition coefficients of trace-elements in the Borovitsa volcanic rocks. — *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 33, 91-98

The igneous rocks from Borovitsa area were divided to middle and acid composition according of silicon contents. In the first are observed two types pyroxenes, biotite, plagioclase and magnetite phenocrysts, apatite like microlyte and groundmass. The acid rocks consist mainly of hornblende, plagioclase, K-feldspar and magnetite, with accessory of apatite, sphene and zircon. From 6 representative samples were separated monomineral fractions and corresponding groundmass by means of known gravimetric, electromagnetic treatments and hand-picking. They were analyzed by combination of XRF, NAA and AAA. On the basis of results obtained were calculated partition coefficients of 26 trace-elements between 29 minerals and residual melt.

Key words: partition coefficients, geochemistry, trace elements, Borovitsa volcanic area.

Addresses: M. Karadjov — Geological Institute, Bulgarian Academy of Science, 1113 Sofia; e-mail: metodi@geology.acad.bg; I. Karadjova — University of Sofia, Faculty of Chemistry, 1126 Sofia; e-mail: karadjova@chem.uni-sofia.bg

Ключови думи: коефициенти на разпределение, геохимия, елементи-следи, Боровишки вулкански район.

Адреси: М. Караджов — Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София; И. Караджова — Софийски университет „Св. Кл. Охридски“, 1126 София

Увод

Количествата на елементите-следи, присъстващи в минералите и остатъчната топилка (l) допълват общата геоложка информация за изучаваните вулкански скали и се явяват началните данни за петрогенетично моделиране на скалообразуващите процеси. Главна величина в това моделиране е коефициентът на разпределение (Kd), който е равен на отношението между тегловните концентрации на елемента X в даден минерал (s) и магмата

$$Kd = [X]_s / [X]_l \quad (1),$$

когато елементът е с ниска (по-малко от 1%) концентрация в двете фази, т.е. когато е в сила закона на Хенри (Кокс и др., 1982).

Kd може да бъде определен чрез прецизен химичен анализ на s и основната маса на съответната вулканска скала, защото се приема, че стъкловидната основна маса има еднакъв състав с топилката, от която кристализира минералът (Хендерсон, 1985). Някои елементи-следи е възможно да бъдат определени с електронна микросонда, но повечето публикувани данни са получени след трудоемка сепарация на фенокристали, последвана от високочувствителни инструментални методи.

Настоящото изследване има за цел да представи числени стойности за Kd като изходни данни за моделиране на разпределението на елементите в Боровишкия вулкански район.

Петрографски данни, минерална сепарация и химичен анализ

От южния участък на Боровишката калдера в Източни Родопи са подбрани 6 представителни за основния набор скали в района проби, които са описани от Марчев (1985) като вулканска серия. Всяка от тях представляваше монолитен непроменен блок с маса около 10 kg. От пълното петрографско описание на същия автор (Марчев, 1985) е представен само списък на разработваните минерали и основна маса, както следва:

Едропорфирен Безводненски шошонит (S1) — изграден от плагиоклаз, ромбичен и моноклинен пироксен, биотит, руден минерал, единични кристали от санидин и акцесорен апатит. Структурата на основната маса е шошонитова.

Кадънски шошонит (S2). Наблюдават се порфири и субпорфири от плагиоклаз, моноклинен и ромбичен пироксен, биотит, руден минерал и редки кристали от санидин и кварц. Като акцесорен минерал се наблюдава апатитът. Основната маса е с хиалопилитова до пилотаксична структура.

Бездивенски латит (L). Скалообразуващите минерали са порфири и субпорфири от плагиоклаз, ромбичен и моноклинен пироксен, биотит и руден минерал. Като акцесорни минерали се наблюдават апатит и магнезиален биотит. Основната маса има хиалопилитова до пилотаксична структура.

Маденски кварцлатит (QL). Микроскопски се установяват порфири от плагиоклаз, санидин, биотит, моноклинен пироксен и руден минерал. Акцесорни минерали са: апатит, сфен и циркон. Вторични — кварц и халцедон.

Боровишки нискосилициев риолит (R). В порфирната генерация участват плагиоклаз, санидин, биотит, амфибол, титаномagnetит и кварц. Акцесорни минерали са: апатит, сфен и циркон.

Гьомдъшки високосилициев риолит (HR). Установяват се впръслеци от плагиоклаз, санидин, биотит, амфибол, кварц и руден минерал. В качеството на акцесорни минерали присъстват апатит, сфен, циркон и аланит. Наблюдават се единични пироксенови кристали с ксеногенен характер. Структурата на скалата, според размерите на порфирите, може да бъде определена като дребнопорфирна.

В Боровишките вулканити преобладава основната маса, а от порфирните генерации липсват едропорфирни индивиди и изобилстват полиминералните срастъци. Тази структура на скалите снижава ефективността на използваните сепарационни операции, които са магнитна и електромагнитна сепарация, разделяне с тежки течности, на концентрационна масичка, на хартия и флотация. Същите причини наложиха задължително доочистване на всички получени мономинерални фракции и основни маси под бинокулярна лупа.

В резултат на разделянето са получени 29 минерални фази и основна маса от 6 вулкански скали в количества между 310 и 450 mg. Поради незначително присъствие или други причини не бяха отделени достатъчни за анализ количества от следните минерали, спрямо наблюдаваните и описани от Марчев (1985): ортопироксен от проба S1, кварц от R и HR, апатит от скалите S2, L и HR. От циркон и сфен бяха получени единични дребни кристалчета при киселите скални образци.

Чистотата на мономинералните фракции е контролирана оптично и с имерсионни течности. За цветните минерали и основните маси тя е по-добра от 95%. Чисти фази при фелдшпатите са постигнати за плагиоклазите на S1, S2, L, HR и санидините от QL, HR. В санидина от R присъства около 9% плагиоклаз, а в плагиоклазите QL и R около 20% от съответния санидин. Тази оценка е постигната с компютърна програма MIXING по непредставени тук количествени съотношения между 3 анализирани макрокомпонента — калциев оксид, натриев оксид и дикалиев оксид.

Съдържанието на елементите-следи в мономинералните фракции и основната маса е установено с комбинация от 3 аналитични метода. Изискването да се определят максимален брой елементи в малка по количество проба налага приложението на различните методи да е в определена последователност, като се започва с недеструктивния рентгенофлуоресцентен анализ (RFA), защото изследването с неутронна активация (NAA) или атомна абсорбция (AAA) води до необратима загуба на аналитичния материал.

Фино стритата фаза ($<75 \mu\text{m}$) с маса 150 mg е изследвана с рентгенофлуоресцентния сканиращ апарат VRA-2, като управлението и изчисляването на резултатите се осъществява с компютър. След измерване на рентгеновата флуоресценция, аналитичният материал може да се възстанови почти без загуби и да се използва за друг вид анализ.

С този аналитичен метод във всички мономинерални проби и основни маси са определени съдържанията на следните елементи-следи: Ba, Ce, Cr, La, Mn, Rb, Sr, Ti, V, Zn и Zr. В отделените магнетити, поради по-високите съдържания, са анализирани още Co, Cu и Pb.

NAA — Необходимото количество аналитичен материал е 0,2 g за цветните минерали и основната маса, а за плагиоклазите и санидините — 0,3 g. Техниката на измерване и обработка на данните са отразени в кандидатската дисертация на Даиева (1980), която е анализирала и пробите. Неутронно-активационно са определени Ba, Ce, Co, Cs, Eu, Hf, La, Lu, Rb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th и Yb в отделените фази. Използването на железен монитор прави този аналитичен метод неприложим за мономинералните фракции магнетит.

За AAA е използвано 0,100 g вещество от мономинералните фракции и основната маса. На атомно-абсорбционен спектрометър PERKIN ELMER 1100 B, при оптимизирани инструментални параметри са определени: Cs, Li и Rb — пламъково фотометрично; Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr и Zn — пламъково атомно-абсорбционно в пламък въздух/ацетилен и Ba, Ti и V — в пламък двуазотен оксид/ацетилен.

Неточности в аналитичните резултати. Общата процедура за намаляване величината на грешката, включваща неколккратно повторение на анализа и прилагането на статистическа обработка не беше изпълнима поради малките количества мономинерални фази, получени след разделянето на скалите. Все пак, резултатите за някои елементи са получени по два или три инструментални метода, което дава възможност да се оцени точността и достоверността им. Например, елементите-следи Rb и Ba са анализирани и по трите описани ме-

тода, Sr, Ti, V, Cr, Mn, Zn и Zr — с рентгенова флуоресценция и атомна абсорбция във всички скални проби и отделени минерални фази. Данните за Pb, Cu, Co и Ni са осреднени резултати от ААА със и без екстракция.

Разликата в резултатите, получени по трите инструментални метода за нито един от елементите, подлежащи на сравнение, в нито една от скалните фази не надхвърля 15%. За сравнение, точността на трите метода поотделно, публикувана от Ривес и Брукс (1983), е за RFA — 10%, за ААА — 5% и за NAA — 5%.

Парциални коефициенти на разпределение

Количествата на елементите-следи в основната маса на изследваните скали са представени в таблица 1, а изчислените Kd в таблици 2—6. Записът на последните с 3 цифри след десетичния знак може да не е съвсем коректен, но по този начин читателят получава по-добра представа за съдържанието на някои елементи в минералите.

Получените стойности за коефициенти на разпределение са сравнявани с различни литературни източници. Сред тях особено впечатление прави публи-

Т а б л и ц а 1

Съдържание на елементи-следи (ppm) в основна маса от Боровишките вулканити

Table 1

Concentration of trace-elements (ppm) in groundmasses of Borovitsa volcanic rocks

No	S1	S2	L	QL	R	HR
Li	5	4	12	16	14	8,5
Rb	305	160	202	300	210	275
Cs	13,0	6,7	14,8	14,1	5,0	11,5
Sr	780	820	400	256	210	47
Ba	2750	1650	2005	720	235	116
Sc	7,1	6,5	6,4	4,2	1,9	1,3
Ti	4660	4300	3830	2730	1360	880
V	98	115	88	37	32	9
Ta	1,3	0,7	1,5	1,2	1,2	2,0
Cr	41	62	43	26	34	47
Mn	590	720	695	350	530	535
Co	10,6	12,0	5,6	4,1	0,6	0,5
Ni	8	8	4	2	0,1	0,1
Cu	15	18	13	10	4	1
Zn	65	60	44	25	18	15
Pb	38	40	51	67	58	62
Th	33,0	36,9	34,3	39,1	54,2	55,9
La	36,8	42,0	55,8	37,8	38,0	46,9
Ce	72,2	81,6	112,0	66,8	75,5	85,4
Sm	4,7	5,9	7,2	4,2	2,7	5,5
Eu	1,2	1,02	1,27	0,5	0,2	0,4
Tb	1,3	0,7	1,7	1,5	0,8	2,0
Yb	2,5	2,8	3,1	2,8	2,3	4,1
Lu	0,3	0,36	0,46	0,6	0,4	0,79
Zr	167	207	240	220	27	36
Hf	5,7	5,5	6,0	5,8	2,0	2,24

S1, S2 — шошонит; L — латит; QL — кварц-латит; R — ниско-Si риолит; HR — високо-Si риолит
S1, S2 — shoshonites; L — latite; QL — quartz-latite; R — low-Si rhyolite; HR — high-Si rhyolite

кацията на De Pieri et al. (1984), в която освен собствените, са обобщени и данни от 87 статии за периода 1961—1983 г., посветени на разпределението на елементите. Резултатите са представени чрез числови интервали и диаграми за редкоземните елементи, очертаващи вариациите на Kd в различни скални видове — от базалти до риолити и минералите: плагиоклаз, санидин, биотит, моноклинен пироксен, амфибол, кварц, тридимит, титаномagnetит, апатит и циркон. С изключение на коефициентите за лития, нашите данни изцяло попадат в публикуваните интервали, но в по-голямата си част те са по-близо до ниската граница на същите. Добро съвпадение на нашите резултати се получава и когато се сравняват трендовете на редкоземните елементи. Прилика се получава дори в неясната за нас положителна европиева аномалия при кварц-латитовия пироксен и биотита от HR или завишения Kd_{Tb} в някои биотити. Получените високи стойности за Kd_{Zr} и Kd_{Hf} в апатитите, въпреки че са много близки до авторските данни на De Pieri et al. (1984), вероятно се дължат на замърсяване на мономинералната фракция с циркон.

Т а б л и ц а 2

Коефициенти на разпределение на елементи-следи в пироксени и амфиболи от Боровишките вулкани

Table 2

Partition coefficients of trace-elements in pyroxenes (Cpx and Opx) and amphiboles(Amp) of Borovitsa volcanic rocks

No	Клинопироксен (Cpx)				Ортопироксен (Opx)		Амфибол (Amp)	
	S1	S2	L	QL	S2	L	R	HR
Li	1,800	2,250	1,250	1,375	1,500	1,083	1,571	1,412
Rb	0,020	0,019	0,010	0,117	0,031	0,025	0,167	0,116
Cs	0,092	0,254	0,135	0,078	0,149	0,419	0,56	0,348
Sr	0,135	0,110	0,175	0,020	0,146	0,268	0,619	0,106
Ba	0,080	0,097	0,070	0,167	0,164	0,130	2,000	1,897
Sc	10,521	13,476	12,297	22,667	4,708	4,891	17,684	17,154
Ti	0,837	0,628	0,930	0,560	0,512	0,679	6,676	9,773
V	2,520	1,608	2,500	3,486	0,896	0,988	7,313	8,667
Ta	0,077	0,143	0,067	0,083	0,143	0,200	2,417	0,350
Cr	6,439	3,839	4,488	4,923	2,564	2,023	4,912	3,979
Mn	3,051	4,056	2,950	9,914	0,694	0,655	9,330	10,813
Co	2,452	2,425	2,321	5,854	5,417	5,357	7,000	35,000
Ni	5,500	5,750	9,750	13,000	8,625	16,750	30,000	60,000
Cu	2,733	2,833	4,077	8,000	4,000	5,769	4,250	6,000
Zn	0,708	1,333	1,477	3,440	2,900	3,864	8,611	3,333
Pb	0,079	0,100	0,059	0,119	0,125	0,098	0,276	0,194
Th	0,040	0,019	0,014	0,036	0,035	0,041	0,112	0,125
La	0,380	0,605	0,269	0,656	0,290	0,204	1,618	1,203
Ce	0,440	0,822	0,334	1,021	0,353	0,146	2,128	1,577
Sm	1,596	1,780	1,333	1,881	0,678	0,333	6,519	4,000
Eu	1,250	1,657	1,031	3,000	0,500	0,283	7,500	5,500
Tb	1,231	1,286	1,294	0,600	0,286	0,294	2,500	2,200
Yb	1,400	1,357	1,032	1,214	0,786	0,613	4,435	2,073
Lu	2,000	1,806	1,326	1,167	0,833	0,739	4,000	0,253
Zr	0,377	0,290	0,321	0,377	0,237	0,192	4,556	3,972
Hf	0,228	0,436	0,283	0,310	0,091	0,083	2,200	2,188

Таблица 3

Коефициенти на разпределение на елементи-следи в биотити от Боровишките вулканити

Table 3

Partition coefficients of trace-elements in biotites of Borovitsa volcanic rocks

No	S1	S2	L	QL	R	HR
Li	2,600	4,750	1,333	5,188	3,857	5,059
Rb	1,213	2,000	1,733	2,300	2,286	1,745
Cs	1,538	3,433	1,554	1,674	2,600	1,739
Sr	0,269	0,232	0,275	0,137	0,124	0,106
Ba	2,267	3,030	4,075	4,424	9,723	14,655
Sc	2,563	3,108	2,859	4,024	13,684	11,538
Ti	8,245	8,698	10,877	10,718	18,860	25,597
V	5,714	4,043	6,068	8,946	3,188	11,556
Ta	0,308	0,857	0,200	0,500	0,417	0,900
Cr	5,488	3,065	2,465	3,038	3,706	3,213
Mn	1,119	1,264	1,273	4,486	7,434	6,748
Co	4,528	4,517	11,964	15,463	27,833	18,600
Ni	5,375	6,000	9,500	11,000	20,000	20,000
Cu	7,133	7,611	3,308	4,700	4,750	7,000
Zn	1,969	0,300	2,273	6,600	10,722	12,000
Pb	0,342	0,325	0,176	0,299	0,276	0,290
Th	0,094	0,108	0,009	0,095	0,207	0,400
La	0,429	0,271	0,122	0,323	0,745	0,808
Ce	0,249	0,427	0,115	0,204	0,585	0,875
Sm	0,383	0,797	0,125	0,714	0,630	0,509
Eu	0,417	0,670	0,181	0,600	0,500	0,750
Tb	0,923	0,857	0,412	0,400	0,750	0,150
Yb	0,320	0,321	0,322	0,321	0,609	0,293
Lu	0,333	0,333	0,434	0,500	0,500	0,190
Zr	0,341	0,290	0,125	0,132	2,963	0,278
Hf	0,210	0,364	0,017	0,190	0,850	0,335

В сравнение с немногочислените стойности за Kd_{Li} от последната цитирана работа, представените такива са значително завишени във всички минерали и скали. Антипин и др. (1984) и Таусон и др. (1984) обясняват този факт с литиевата концентрация в родоначалната магма. Ако тя е по-ниска от 40 ppm, литият има $Kd > 1$ в почти всички скалообразуващи минерали.

Сред прегледаните литературни източници най-бедни и най-непълни са данните за ортопироксените и затова направените частични съпоставки на получените резултати не могат да се считат за представителни.

Определянето на коефициентите на разпределение по формула 1 предизвиква въпроса за термодинамичното равновесие между кристализиращите минерали и основна маса, т. е. доколко концентрационното отношение фено-кристал/основна маса отразява минерал/магменото разпределение на елементите. Марчев (1985) е наблюдавал и приложил анализи на петрогенните елементи, които показват наличието на химична зоналност в израстващите плагиоклази. Това е ясна индикация, че някои минерали са продукт на неравновесна кристализация и може да съществува неравномерно разпределение на елементите. Този факт не можеше да бъде отчетен в настоящото изследване поради естеството на сепарационните операции и трябва да се има предвид в едно следващо петрогенетично моделиране.

Таблица 4

Коефициенти на разпределение на елементи-следи във фелдшпати от Боровишките вулкани

Table 4

Partition coefficients of trace-elements in feldspars (Pl and San) of Borovitsa volcanic rocks

No	Плагиоклаз (Pl)						Санидин (San)		
	S1	S2	L	QL	R	HR	QL	R	HR
Li	1,600	1,000	0,833	0,375	1,000	1,176	0,375	0,714	0,588
Rb	0,082	0,144	0,035	0,383	0,414	0,109	0,833	0,857	0,818
Cs	0,046	0,104	0,068	0,057	0,120	0,174	0,234	0,380	0,261
Sr	2,051	2,110	4,525	4,727	4,238	12,55	3,281	3,667	5,319
Ba	0,422	0,497	0,259	1,444	1,574	2,155	6,278	5,489	8,879
Sc	0,296	0,400	0,203	0,071	0,158	0,077	0,143	0,105	0,154
Ti	0,071	0,074	0,078	0,110	0,176	0,148	0,110	0,121	0,136
V	0,071	0,104	0,091	0,081	0,094	0,222	0,514	0,250	1,333
Ta	0,077	0,143	0,067	0,083	0,083	0,050	0,167	0,167	0,050
Cr	0,195	0,113	0,116	0,115	0,118	0,149	0,115	0,294	0,298
Mn	0,119	0,083	0,065	0,071	0,094	0,056	0,029	0,085	0,009
Co	0,208	0,150	0,125	0,487	0,333	0,400	0,488	0,500	0,600
Ni	0,250	0,250	0,250	0,250	1,000	1,000	0,200	1,000	2,000
Cu	0,133	0,167	0,308	0,300	0,250	0,500	0,200	0,250	2,000
Zn	0,400	0,267	0,295	0,200	0,556	0,467	0,280	0,667	0,600
Pb	0,211	0,300	0,216	0,194	0,086	0,065	0,239	0,190	0,129
Th	0,073	0,079	0,087	0,043	0,065	0,032	0,041	0,074	0,023
La	0,326	0,345	0,289	0,296	0,197	0,309	0,135	0,184	0,102
Ce	0,249	0,331	0,214	0,314	0,199	0,226	0,102	0,172	0,085
Sm	0,383	0,271	0,181	0,119	0,148	0,091	0,048	0,111	0,036
Eu	1,583	1,725	1,315	3,000	2,500	2,500	1,800	2,500	1,750
Tb	0,077	0,143	0,118	0,200	0,250	0,050	0,067	0,125	0,050
Yb	0,080	0,071	0,065	0,071	0,087	0,049	0,036	0,087	0,024
Lu	0,333	0,111	0,043	0,167	0,250	0,025	0,167	0,025	0,013
Zr	0,647	0,435	0,308	0,141	0,889	0,833	0,295	0,407	0,278
Hf	0,053	0,036	0,033	0,034	0,050	0,107	0,069	0,150	0,031

Таблица 5

Коефициенти на разпределение на елементи-следи в магнетити от Боровишките вулкани

Table 5

Partition coefficients of trace-elements in magnetites of Borovitsa volcanic rocks

No	S1	S2	L	QL	R	HR
Li	3,800	3,500	2,333	2,250	2,214	1,647
Rb	0,030	0,038	0,010	0,037	0,029	0,018
Cs	0,385	0,448	0,338	0,213	0,600	0,261
Sr	0,033	0,073	0,288	0,133	0,124	0,617
Ba	0,033	0,112	0,105	0,086	0,391	0,164
Ti	11,837	11,907	12,446	14,015	21,949	29,864
V	10,980	11,565	25,898	27,514	25,500	34,770
Cr	11,610	7,016	11,488	15,385	14,176	11,766
Mn	15,661	16,049	4,388	17,857	15,547	16,056
Co	26,321	19,167	33,928	48,780	108,330	134,000
Ni	25,500	19,500	40,000	43,500	160,000	180,000
Cu	23,330	18,167	8,385	9,500	9,500	26,000
Zn	3,923	2,917	4,909	8,040	14,167	15,933
Pb	2,684	2,150	1,118	1,000	1,483	2,210
Zr	0,419	0,488	0,333	0,355	0,185	0,167

Таблица 6

Коефициенти на разпределение на елементи-следи в апатити от Боровишките вулкани

Table 6

Partition coefficients of trace-elements in apatites of Borovitsa volcanic rocks

No	SI	QL	R
Li	0,400	0,063	0,143
Rb	0,006	0,333	0,014
Cs	0,077	0,007	0,200
Sr	0,487	0,469	0,190
Ba	0,095	0,069	0,042
Sc	0,014	0,024	0,053
Ti	0,215	0,037	0,037
V	0,112	0,054	0,031
Ta	0,154	0,083	0,333
Cr	0,073	0,038	0,059
Mn	0,390	0,543	0,189
Co	0,094	0,024	0,167
Ni	0,063	0,050	1,000
Cu	0,033	0,050	0,125
Zn	0,154	0,080	0,167
Pb	0,079	0,030	0,086
Th	0,909	1,535	0,092
La	15,652	49,630	39,239
Ce	16,399	55,599	34,808
Sm	31,064	82,381	35,556
Eu	14,500	63,800	44,500
Tb	8,231	15,200	22,250
Yb	5,920	15,964	15,478
Lu	3,333	1,667	3,000
Zr	3,659	2,727	3,000
Hf	2,632	2,241	3,000

Заклучение

От 6 представителни проби Боровишки вулкани са получени 29 моно-минерални фракции и съответната основна маса. Чрез комбинация от RFA, NAA и AAA в тях са определени съдържанията на 26 елементи-следи. Изчислени са коефициентите на елементно разпределение — минерал/основна маса за анализираниите минерали.

Литература

- Антипин, В. С., В. И. Коваленко, И. Д. Рябчиков. 1984. *Коефициенты распределения редких элементов в магматических породах*. М., Наука, 251 с.
- Даиева, Л. И. 1980. Кандидатска дисертация. БАН-ГИ. 145 с.
- Кокс, К. Г., Дж. Д. Белл, Р. Дж. Панкхерст. 1982. *Интерпретация изверженных горных пород*. М., Недра. 414 с.
- Марчев, П. Г. 1985. Кандидатска дисертация. СУ „Кл. Охридски“ — ГГФ. 327 с.
- Ривес, Р. Д., Р. Р. Брукс. 1983. *Анализ геологических материалов на следы элементов*. М., Недра. 405 с.
- Таусон, Л. В., В. С. Антипин, М. Н. Захаров, В. С. Зубков. 1984. *Геохимия мезозойских латитов Забайкалья*. Новосибирск, Наука. 215 с.
- Хендерсон, П. 1985. *Неорганическая геохимия*. М., Мир. 338 с.
- De Pieri R., A. Gregnanin, R. Stella, M. T. G. Valentini. 1984. Coefficienti di distribuzione cristallo-liquido dei minerali nelle trachiti e rioliti dei colli euganei. — *Memor. Sci. Geol., Padova*, **34**, 461-498