

553.06.078 (470.5)

-

:

.. * .. ** .. *

* .. *** .. *

*

620151, . , ., 7

E-mail: root@igg.e-burg.su, sazonov@igg.uran.ru

**

109017, . , ., 35

620144, . , ., 30

29 2006 .

,

[, 1996] , (,

) - , - (-

), , , - ;

(-) , -

,

+ 5 .%) : (+ 30-50 .%) -

- , . « » « » -

,

SiO₂ .

- , -

Σ /ΣY , , .

(-), -« -

» « ».

:

(), -

, , (), -

, -

**RARE-EARTH ELEMENTS IN COLUMNS OF PROPILITIZATION,
ALBITITIZATION, EISITIZATION, BEREZITIZATION-LISTVENTITIZATION
OF DIFFERENTIAL ROCKS: EVOLUTION OF DISTRIBUTION,
CAUSES AND PRACTICAL IMPORTANCE**

V.N. Sazonov*, O.V. Vikent'eva, V.N. Ogorodnikov*, Yu.A. Polenov***, A.Ya. Velikanov***

**Institute Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS*

***Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS*

****Urals State Mining University*

The aim of the article is to show a transformation of REE distribution in serpentinous alpinotype harzburgites, propilitized island arc gabbro, dolerites, andesites, riftogene amphibolites, early collision granites and granitoid-porphry dykes under action fluids caused propilitization (T = 550°C, P = 3 kbar, pH = 8-9, fluid have Na-specialization), albititization (T = 450°C, P = 1-0,6 kbar, pH > 7, fluid have Na-specialization), eisitization (T = 450°C, P = 1,0-0,6 kbar, pH = 8-10, fluid have Na and CO₂-specialization), beresitization-listyenyitization (T = 395-280°C, P = 2,0-0,6 kbar, pH = 4-6, fluid have K, Na (rare) and CO₂-specialization). For comparison REE contents of educts have been ranged on the basis of the chondrite [Evensen et al., 1978]. But REE of metasomatites have been ranged on the basis of the educts. Results of our investigations are the next. Under propilitization (formation of epidote-actinolite mineral facies) heavy REE added but light REE carried out. During eisitization REE carried out, but under albititization these elements in outward zone carried out and in inner zone – light and middle REE added, but heavy – carried out. Beresitization-listventitization aureoles formatted in different rocks are integral [Evensen et al., 1984].

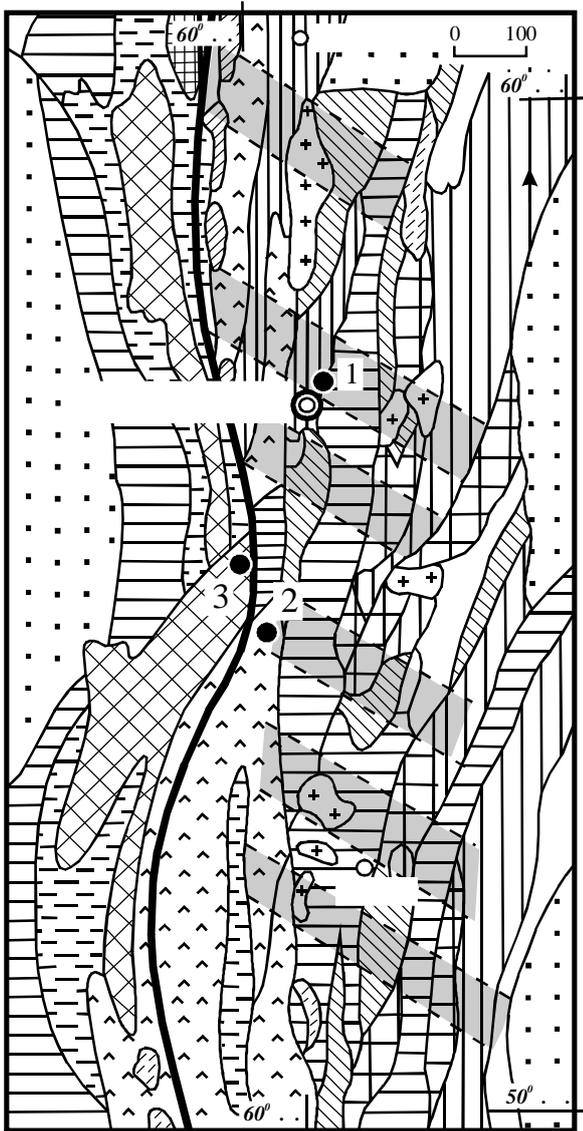
In acidic environments REE carry out, especially heavy ones. But in alkaline environments heavy REE added. REE contain level in metsomatites beresite-listvenite formation and in their minerals cause of a level contain them in educts. The sum of REE contain in magmatites of the same environment cause contain SiO₂ in them.

Key words: rare-earth elements (REE), distribution of an element, transformation of distribution, propilitization, albititization, beresitization-listventitization, carryin and carry out of an element, educt, product (metasomatit), acidity-alkalinity of mineral-forming systems, REE-complexes in hydrothermas.

[Evensen et al., 1978].

ISP-MS (. . . , . . .)

(. . . 1, 2),



- 1 [diagonal lines /] 2 [grid] 3 [diagonal lines \] 4 [diagonal lines /] 5 [wavy lines ^] 6 [vertical lines]
- 7 [vertical lines] 8 [empty box] 9 [diagonal lines \] 10 [empty box] 11 [plus signs]
- 12 [horizontal lines] 13 [horizontal lines] 14 [horizontal lines] 15 [dots] 16 [wavy lines /] 17 [wavy lines \] 18 [diagonal lines /]
- 19 [circle with dot]

...) -
 (-
 ...) (.1). -
 ISP-MS (-
) (.2). -
 [, 1975; ..., 1997; [,

. 1. -
 (1-3) -
 (-
 [, 2005)]. -
 1 - -
 ; 2 - -
 ; 3 - ; 4 - -
 ; 5 - -
 6 - - ; 7 - -
 ; 8 - ; 9 -
 ; 10 - ; 11 - -
 ; 12 - ; 13 - -
 ; 14 - ; 15 - -
 ; 16 - -
 ; 17 - -
 ; 18 - -
 , « » -
 ; 19 - : 1 - -
 (. 2), 2 - -
 , 3 - 175 (-
).

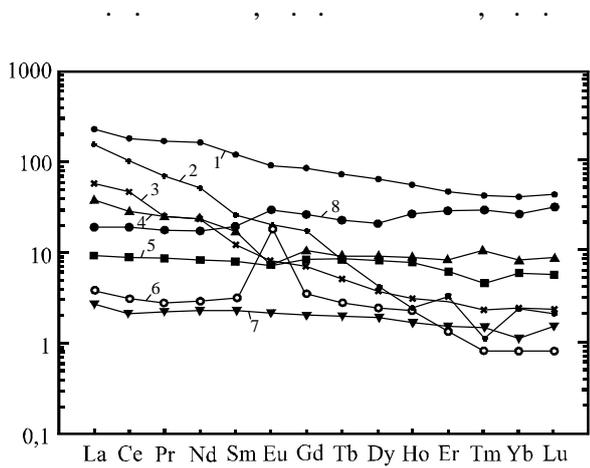
..., 2001, .].
 I.
 (. 1, 2).
 -
 -
 -
 : (-
 , -
 -
 (,)
 -
 , -
 [,

((/) . %)

Компо- нент	A(1)	A(2)	Б(1)	Б(2)	В(1)	В(2)	В(3)	Г(1)	Г(2)	Г(3)	Г(4)	Д(1)	Д(2)	Д(3)	Е(1)	Е(2)	Е(3)	З(1)	З(2)	З(3)
SiO ₂	49,95	41,31	70,50	68,00	69,63	68,00	65,0	60,03	58,79	70,93	62,93	49,12	29,35	34,23	46,47	42,84	42,32	41,58	35,62	22,98
TiO ₂	1,34	1,04	0,26	0,26	0,22	0,26	0,25	0,58	0,64	0,27	0,23	1,23	0,27	0,10	1,14	1,12	1,12	0,01	0,01	Сл
Cr ₂ O ₃	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,04	0,22	0,01	0,03	0,02	Сл	0,46	0,17	0,13
Al ₂ O ₃	11,07	9,78	15,66	15,53	14,83	15,53	14,22	15,50	13,25	11,10	9,64	15,52	12,31	22,28	13,91	11,97	9,87	0,84	0,58	0,47
Fe ₂ O ₃	5,37	3,24	0,47	1,25	0,80	1,25	3,92	2,65	1,80	1,34	5,53	2,46	1,32	0,78	2,47	2,04	1,52	5,62	1,30	2,80
FeO	11,30	12,30	1,95	0,04	1,62	0,04	0,11	4,82	5,25	0,87	2,65	5,67	5,50	1,59	7,54	8,70	5,92	2,72	3,48	4,01
FeS ₂	—	—	—	5,02	—	5,02	8,65	—	—	2,06	6,97	—	—	0,07	—	—	1,74	—	—	—
MgO	4,05	3,24	0,82	0,64	0,42	0,64	0,72	3,90	3,76	1,00	4,23	9,05	16,20	11,55	7,25	5,55	5,95	35,45	27,45	31,66
CaO	7,35	10,84	2,00	0,34	1,43	0,34	0,61	3,87	4,81	2,47	2,95	11,27	5,51	2,70	10,48	7,14	8,85	Сл	0,11	0,11
MnO	0,23	0,33	—	—	0,04	0,02	0,05	0,17	0,24	0,20	0,17	0,04	0,10	0,04	0,15	0,16	0,32	0,12	0,08	0,14
Na ₂ O	3,40	3,40	4,99	0,20	4,23	0,20	0,21	3,65	2,72	0,34	0,07	2,68	0,31	2,70	2,74	2,04	0,15	0,05	0,05	0,10
K ₂ O	2,07	1,93	3,45	4,90	4,07	4,90	4,71	0,29	1,05	3,15	1,78	0,10	3,06	0,60	0,09	0,69	3,35	0,05	0,05	0,05
P ₂ O ₅	1,49	1,39	—	—	—	—	—	0,14	0,22	0,05	0,66	0,04	Сл	0,03	0,11	0,13	0,15	0,03	0,01	Сл
п.п.п.	—	13,00	—	2,43	1,46	2,43	4,62	4,54	7,48	6,46	2,81	3,10	25,57	19,10	7,60	17,94	18,21	13,08	30,42	37,81
CO ₂	—	—	—	Сл	—	0,93	2,34	—	4,32	4,15	2,74	Сл	23,31	16,24	4,08	16,30	16,66	Сл	29,27	36,83
Сумма	97,63	100,34	97,10	98,63	98,75	98,63	100,96	100,14	100,02	99,69	100,47	100,38	99,80	99,12	99,99	100,34	99,47	100,01	99,33	100,35
La	54,82	49,04	14,90	17,62	38,76	33,86	39,17	9,54	2,20	4,89	0,43	0,88	0,09	0,12	2,42	2,42	0,11	0,07	0,30	0,51
Ce	121,78	108,51	29,4	43,38	62,14	53,85	66,98	19,78	6,51	12,63	1,09	1,91	0,31	0,38	6,38	7,02	0,31	1,20	1,41	1,33
Pr	18,52	15,36	2,34	5,20	6,67	4,88	7,92	2,60	1,25	1,93	0,13	0,29	0,08	0,09	0,96	1,39	0,05	0,22	0,13	0,12
Nd	80,46	68,49	11,80	18,00	24,94	21,62	29,73	10,90	7,58	12,56	0,57	1,47	0,47	0,43	4,79	6,92	0,33	1,10	0,30	0,50
Sm	18,83	17,34	2,03	3,54	3,86	3,18	5,54	2,62	3,08	4,11	0,12	0,49	0,17	0,14	1,23	2,86	0,10	0,33	0,09	0,09
Eu	5,35	5,58	0,47	0,73	1,14	0,64	1,60	0,41	0,88	1,10	0,04	1,16	0,17	0,10	0,41	0,87	0,04	0,13	0,03	0,02
Gd	18,07	16,71	1,37	1,20	2,79	0,63	6,06	2,06	3,13	1,84	0,26	0,72	0,19	0,16	1,66	3,27	0,16	0,41	0,10	0,11
Tb	2,89	2,60	0,19	0,23	0,28	0,11	0,36	0,34	0,31	0,29	0,05	0,10	0,03	0,03	0,31	0,38	0,03	0,07	0,02	0,02
Dy	16,43	15,09	0,92	1,35	1,03	0,53	1,52	2,21	2,14	4,07	0,51	0,61	0,66	1,80	2,06	1,58	0,22	0,48	0,12	0,11
Ho	3,18	2,88	0,18	0,45	0,14	0,08	0,25	0,48	1,12	1,70	0,30	0,14	0,53	1,13	0,43	1,17	0,05	0,09	0,03	0,03
Er	7,83	7,36	0,45	0,52	0,46	0,23	1,45	1,38	4,54	5,08	1,41	0,32	1,10	3,35	1,03	3,39	0,30	0,27	0,07	0,07
Tm	1,10	0,96	0,06	0,17	0,03	0,01	0,08	0,29	0,87	1,27	0,35	0,02	0,22	0,53	0,11	0,59	0,21	0,04	0,03	0,01
Yb	7,54	6,12	0,42	0,94	0,40	0,26	0,73	1,32	5,68	5,32	2,48	0,13	1,04	3,37	1,02	3,65	1,49	0,16	0,07	0,09
Lu	1,26	0,95	0,06	0,16	0,05	0,02	0,13	0,21	0,88	0,82	0,45	0,02	0,15	0,31	0,17	0,46	0,23	0,04	0,01	0,02
ΣPЭ	358,06	316,99	64,59	98,84	142,69	119,88	161,52	55,2	40,17	57,13	8,19	8,36	52,1	11,94	22,98	35,97	3,63	5,24	2,61	3,03

(/)

		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
(-)															
	+	0,7	1,2	0,22	1,1	0,33	0,13	0,41	0,07	0,48	0,09	0,27	0,04	0,25	0,04
	+	0,4	0,8	0,1	0,4	0,12	0,03	0,11	0,02	0,12	0,03	0,08	0,01	0,08	0,01
	Ta+K	0,4	0,8	0,05	0,13	0,02	0,06	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04	0,01
	+ +	0,4	0,8	0,1	0,4	0,16	0,03	0,12	0,02	0,17	0,03	0,12	0,02	0,18	0,04
	+	1,0	1,7	0,19	0,7	0,15	0,05	0,14	0,02	0,16	0,03	0,1	0,01	0,16	0,02
	-:-	0,8	1,9	0,27	1,1	0,25	0,07	0,2	0,03	0,18	0,04	0,13	0,02	0,14	0,02
	-:-	0,5	0,9	0,15	0,6	0,15	0,04	0,16	0,02	0,15	0,04	0,11	0,02	0,17	0,0
		0,4	0,8	0,08	0,3	0,09	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0
()															
	+ + +	1,8	4,6	0,83	4,5	2,05	0,65	3,22	0,58	4,19	0,93	2,79	0,4	2,66	0,35
		1,0	2,1	0,32	1,4	0,5	0,37	0,77	0,14	0,95	0,2	0,65	0,09	0,64	0,09
	+ + +	0,9	2,6	0,39	2,0	0,67	0,22	0,57	0,08	0,47	0,09	0,23	0,03	0,27	0,04
	+	0,1	3,2	0,45	2,2	0,74	0,26	0,63	0,09	0,53	0,09	0,29	0,04	0,27	0,05
		1,1	3,6	0,52	2,6	0,64	0,19	0,44	0,05	0,32	0,06	0,15	0,02	0,16	0,03
	+ +	0,1	1,6	0,17	0,6	0,2	0,11	0,24	0,06	0,37	0,08	0,17	0,04	0,28	0,04
		0,2	1,7	0,15	0,5	0,14	0,07	0,15	0,03	0,3	0,08	0,31	0,06	0,68	0,11
	+ +	0,9	2,1	0,23	0,8	0,17	0,03	0,19	0,03	0,25	0,08	0,25	0,05	0,34	0,06
		0,8	1,7	0,23	0,7	0,22	0,18	0,28	0,05	0,35	0,09	0,28	0,05	0,29	0,05
()															
	+ + +	0,8	3,7	0,63	3,2	1,27	0,26	1,77	0,37	2,45	0,59	1,66	0,24	1,62	0,17
		5,2	13	2,44	11,4	3,98	2,01	6,0	1,01	6,78	1,5	4,14	0,57	3,94	0,47
	-:-	1,2	4,5	0,62	2,9	0,79	0,25	0,87	0,12	0,72	0,12	0,33	0,05	0,30	0,04
	-:-	1,1	4,1	0,57	2,7	0,88	0,21	1,23	0,24	1,69	0,39	1,23	0,18	1,27	0,17
	+ + +	3,1	9,4	1,7	9,3	3,57	1,32	5,09	0,96	6,83	1,5	4,35	0,63	3,76	0,44
	+	1,4	2,9	0,6	2,6	0,95	0,42	1,25	0,23	1,5	0,34	1,13	0,18	1,3	0,22
	-:-	1,4	3,8	0,6	2,7	0,84	0,26	0,79	0,11	0,65	0,12	0,38	0,05	0,31	0,05
	-:-	1,2	12	2,0	11,3	4,51	1,47	4,86	0,81	4,47	0,77	2,14	0,3	2,14	0,32
C	+ + +	2,7	7,9	1,3	6,6	1,63	0,27	1,0	0,12	0,64	0,12	0,35	0,04	0,03	0,05
		2,5	18	2,9	13,7	3,48	0,53	1,89	0,20	0,12	0,17	0,53	0,08	0,53	0,07
	-:-	2,4	6,9	1,2	6,5	2,01	0,53	1,51	0,21	1,06	0,21	0,66	0,11	1,03	0,15
	+ +	5,7	16	2,7	13,3	3,39	0,69	1,88	0,17	0,81	0,13	0,37	0,05	0,36	0,05
		2,6	8,4	1,54	8,3	2,65	0,82	2,4	0,29	1,62	0,29	0,76	0,11	0,77	0,11
(, , 175)															
	+ + +	11	24	2,5	6,5	1,98	0,98	3,35	0,74	6,0	1,85	7,15	1,53	11,5	2,65
		3,0	6,0	0,85	3,48	1,03	0,19	1,37	0,41	1,68	0,43	1,89	0,46	2,50	0,31
	-:-	670	111	121	440	100	33,3	101	15,9	76,0	13,3	33,1	4,2	17,9	3,1
	-:-	10	22	2,1	9,1	2,7	0,31	2,9	0,61	3,88	0,96	3,17	0,52	3,80	0,61
	+ +	14	30	4,2	18,1	5,3	0,17	6,3	0,57	6,30	1,39	4,12	0,52	3,20	0,48
		8,5	16	1,8	7,2	1,91	0,76	2,31	0,40	2,55	0,62	1,92	0,27	1,55	0,32
	-:-	6,7	22	2,3	8,7	2,2	0,4	3,1	0,33	3,1	0,67	2,31	0,38	2,1	0,39
	-:-	3,3	9,7	1,39	6,0	1,64	0,23	2,40	0,4	2,85	0,76	2,38	0,40	2,56	0,48
	-:-	1,0	3,8	0,6	2,6	0,8	0,2	1,21	0,22	1,50	0,32	1,0	0,16	1,2	0,16
	-:-	0,5	2,9	0,43	2,1	0,7	0,24	0,6	0,09	0,50	0,09	0,28	0,04	0,28	0,05



. 4.	-	-
.	.	[Even-
sen et al., 1978],	.	. 1. -
		: 1 - -
3; 2, 3, 5-7 -	1; 4 -	2; 8 -
4.		
1-8 -		:
1 -	, 2 -	-
, 3 -	, 4 -	-
, 5 -		, 6 -
	, 7 -	-
, 8 -	.	-

1, . 1). - , (. , - TiO₂, Fe, CaO, MgO, P₂O₅. 2 1. « » [., 2006] (SiO₂, Al₂O₃ MgO) . 1 , - (316 . , -Ar), (240 . , -Ar) [., 2006]. (3 - , -). (2 1), (358 317 /). . 4 , = 450° . (/) : (63), (4-510, (10-52), - (23-49), (30), (16-24), (3-5), (8), (2-4). . 1. , ,

(. , - TiO₂, Fe, CaO, MgO, P₂O₅. 2 1. « » [., 2006] (SiO₂, Al₂O₃ MgO) . 1 , - (316 . , -Ar), (240 . , -Ar) [., 2006]. (3 - , -). (2 1), (358 317 /). . 4 , = 450° . (/) : (63), (4-510, (10-52), - (23-49), (30), (16-24), (3-5), (8), (2-4). . 1. , ,

... , ... , ... , ... , ...

() (- - -) (= 280-395° , <7 = 0,6-2,0) [, 1984].

... , ... , ... , ... , ...

() (« ») (« ») .

+ () () ;

(,) .

[, 1984].

[, 1984]:)

« » () () ()

() () () ()

() ;) , . 1, 2; 1- 3).

() (. . 1).

() ;)

() [, 2001].

5 % , () (. 5 ,) .

() () Eu

- Pr, Gd Tm. = 395°

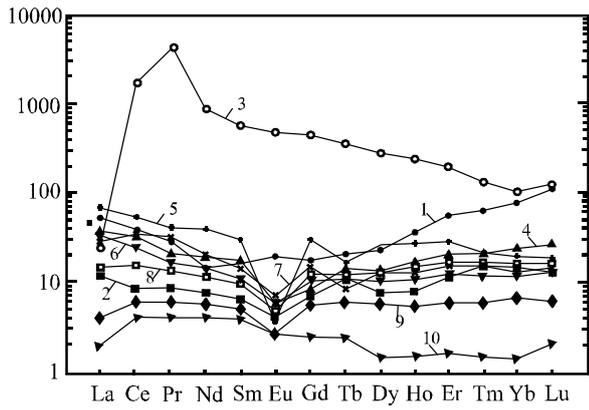
1,8 [, 1984].

« »

(. 5) , Gd Er ,

(1,8) [, 1984]

(-) - « » -
 Lu -
 (« » « » , -
 « » (.5)). , (.5 -).
 (.5 ,). , (-
 .5 , , [xc ,1984].
 Tb, . -
 (« » .
 (.5 ; .1, « » -
 . 1- 4), (.5 ; .1, . 1- (-
 3), (.5 ; .1, . 1- 3).) Au
 [,1983; , - « » -
 ,1983; ,1985]. .62 [(. .5 -
 (. .5 -). , () -
 « » (.5 -)
 [C , ,1983; , .
 1985]. , .5 , , :
 « » , .
 , .5 - . ,
 « » , (.5 ; .1, .
 () , 1- 3).
 () .
 « » [,1984],
 « » ,



6. - -
 (1-4) (5-10)
 1-10 - : 1 - , 2 - -
 (-), 3 - , 4 - ,
 5 - , 6, 7 - , 8 - , 9 - ,
 10 -
 ISP-MS (. . . , . . . -
 , . . .).

), [C ., 2005].
 [., 1996]
 . (., 2005).
 (62-84 /) [., 1984].
 (Eu/Eu* = 1,24). (., 2005).
 Eu (Eu/Eu* 0,51; 0,70 0, 97). [., 2005].
 ; [., 2005].
 : Fe²⁺. [., 2005].
 : Eu (Eu/Eu* = 0,73). (., 2005).
 Fe²⁺. Eu
 : (Nd

1982. : ,1983. .92-95.
/ . . ,
: ,
2001. 622 .
/ . . , . . .
: ,1990. 189 .
: ,1978. 216 .
: ,1984. 208 .
: ,1998. 181 .
: ,1975. 172 .
« - . . »
»
1- //
[,1984]. -2005. -
. .2. : ,2005. .57-63.
-2005.
// -2005.
: ,2006. .398-404.
2.
(
) . : ,2003. 68 .
-4210.2006.5.
// -1982.
: ,1983. .97-100.
: ,1976. 268 .
//
: ,1971. .154-171.
: ,1985. 298 . ,1996. 36 .
: ,1947. 264 .
//
-1988. : ,1989.
. 110-112.
: ,2000. 184 . *Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K.* Rare earth abundances in chondritic meteorites // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1978. V. 42. P. 1199-1212.
() / . . . : *Gammons C.H., Wood S.A., Williams-Jones A.E.* The aqueous geochemistry of the rare earth elements and yttrium: IV. Stability of neodymium chloride from 25 to 300°C // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1996. V. 60. P. 4615-4630.
, . . . ,1997. 226 . *Haas J.R., Shock E.L., Sasani D.C.* Rare earth elements in hydrothermal systems: Estimates of standard
//

. . . , . . . , . . . , . . . , . . .

partial molar thermodynamic properties of aqueous complexes of rare earth elements at high pressure and temperature // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59. P. 4329-4350.

Mullen E. MnO – TiO₂ – P₂O₅: a magor element discriminant for basaltic rocks of ocean environments

and implications for petrogenesis // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1983. V. 62. 1.P. 41-58.

Wood S.A. The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and yttrium. 2. Theoretical prediction of speciation in hydrothermal solutions to 350°C at saturation water pressure // *Chem. Geol.* 1990. V. 88. P. 99-125.

. - . . .