

. . . * , . . . * , . . . ** , . . . ***
*
620151, . , . , 7
**
142432, . , . , 4

167982, . , . , 54
16 2005 .

GOLD DEPOSITS IN RODINGITE FROM ALPINOTYPE ULTRABASIC MASSIVES

V.V. Murzin*, **V.N. Sazonov***, **D.A. Varlamov****, **S.N. Shanina*****

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

***Institute of Experimental Mineralogy RAS*

****Institute of Geology, Komi Science Centre, Urals Branch of RAS*

It was treated world data about mineral composition, stages of mineral formation, PTX-conditions, initial rock's substrate and fluid origin during of building up gold-bearing rodingite formation. It was determined that by PTX-condition, mineral formation stages, mineral associations' composition productive rodingites are not distinguished from widespread unproductive ones. Productive and unproductive rodingites are similar also by a variety of their develop substrate however the most spread gold mineralization takes place during a maximum alteration of ultrabasites. The latter are probably the main source of gold. The rodingites specialized on precious metals are located in fault zones. Factor favoring

for high local concentration of gold is occurrence of ore locality deformations with formation of filling veins and veinlets and also appearance of thermo stating regime. Gold concentration took place during the whole of process of rodingite formation however the most productive associations were the latest ones telescoped and deposited in net of open fissures. On example of the Zolotaya Gora deposit it is shown that a model of rodingitized fluid origin as a result of dehydration of ultrabasites in hypogene conditions well explains the conditions of gold-bearing rodingites formation. Manifestation of rodingites with high local gold content has all the signs which permit to separate of metasomatic formations and excretion of gold-rodingite (chlograpite) formation is well founded in our opinion. The deposit Zolotaya Gora in the Southern Urals may represent as world standard object of gold-bearing rodingites.

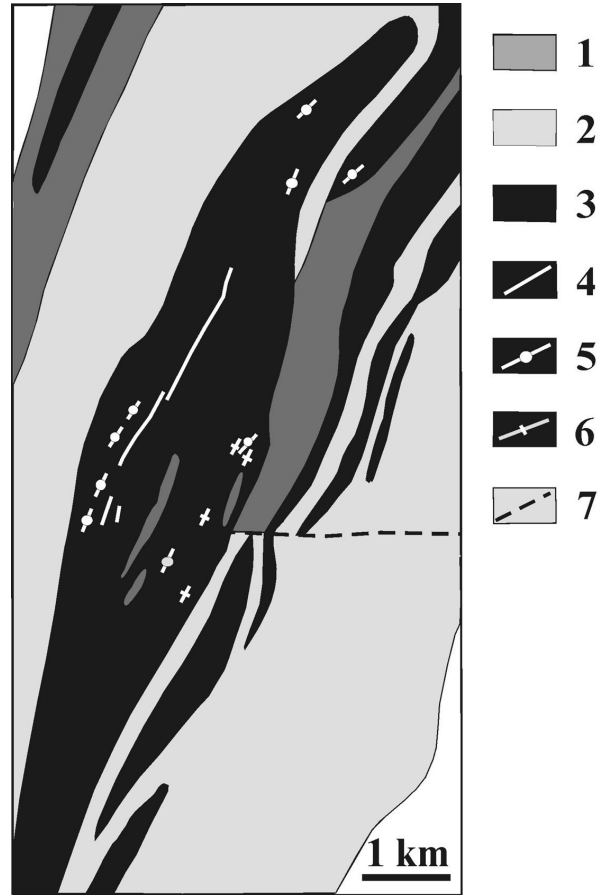
Key words: *rodingite, chlograpite, alpinetype ultrabasite, serpentization, deserpentinization, dehydration, gold, copper gold*

— , - 3 , -
, , - , -
[, , 1974],
, - -
« » - (-
,) [, 1998].
— , , - , -
, - , , -
, , , , -
, , , , -
- , , - ,
, , - ,
, - : 1) (-
, - (-
1946).) (1902-); 2) - (-
, , 3) (-
, , -)
[, 1935;
1948; , , 1984;
, 2002, .]. - , ,

[, 2002].

[, 2002; , 1999)].

(),



. 1.

([, 2003]).

a

1 – , O₂; 2 – ;
 3 – ; 4 – ;
 5 – ; 6 – ; 7 – .

3 (. 1).

β-

3 – 2002].

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

- , -
- , -
(... , ...)
[.., 2003].

- , -
20-30 3-10
(..).
[.., 1984].

350
- 200 .
5-10 / (.. 2
) . 10 .

/ [.., 2003].)
[.., 1997; .., 2002].

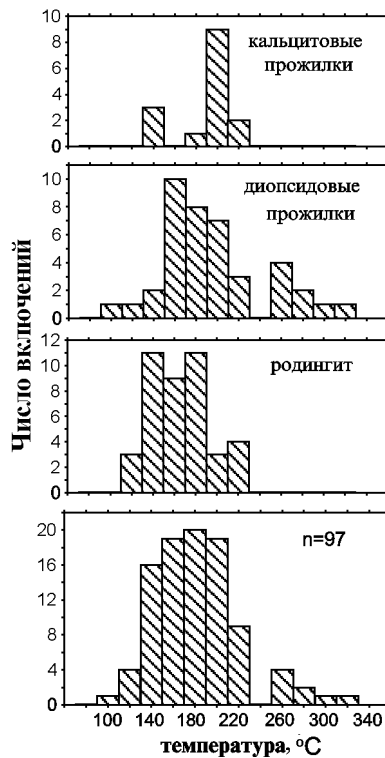
1,5

(..) .

(3 , ..) . (.. , 0)

1-1,5 , - , -
, , - , -
[, 1993]. -
, , - , -
 α_2 ($\alpha_2 < 0,07$), -
- 2-4 . -
- - -
, , = 470-230 = 1-2 , -
- (,) -
- 0,001-0,019, -
- -
- 1- . -
1,5 / . -
, « - , -
» (, -
., 1946). Au-Ag-Cu, -
- - [-
., 2004 , ; , 2005]. -
[-
., 1993] , -
- , , 1 2 ,
[, 1977; , 1979; , 1989; , 2002, = 2 415±10 . -
.] . -
- (470-
500), -
- , -
- , -
- 1 2 -
- 420-470 . -
[, 2002] 3 , -
: , , - , -
, , , (NiSb₂), - 230-
(FeSb₂), (NiSbS), - 310 C : 1000ln α = 0,040(10⁶/T²)+
(Cu₂Sb), (CuNiSb₂), - 3,530(10³) / T-1,43 [Zheng, 1993b]. -
(FeSbS), (Cu₃Au), -
(AuCu), CuAu₃, -
Cu₂Au₃, Hg- , Hg- , Hg- -
Hg- (815-853). [, 1987]. -
[, 2002]
-
- 250-140 , -

. . . , . . . , . . .
 , . . . , . . .
 ()
 ().
 97
 (. 2).
 ± 5 .
 55×12
 3×3 , , .
 (65-95 % + 35-5 %).
 , . . . «
 ».
 -
 - 115...325 $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
 , . . . , . . .
 5 ([, , 2002]),
 . . .
 = 140...220 , 2-3 .
 3
 « »
 , . . .
 150...250
 5-10 % NaCl (, . . .)
 - 4- (2, 4).
 8 % . NaCl) = 250
 80-90 /1 ...330 (. . 2)
 [, , 1959].
 2 - 2 ,
 400 , 4- 1 ,



= 140...200 . - 0,012-0,048, -
 - 0,007-0,011. -
 (, 1 , -
 2), 1 2 = 0,001-0,003, -
 2 1 -
 (1). 0,007±0,001 [., 1993]. 2 =
 , - - 2
 . 2 2 = 0,005-0,019 , -
 - 3 ' (2 = 0,039). -
 , - -
 (.1). -
 , - = 0,002, 1 2
 : 1) . -
 200...300 - , -
 2) , N₂ NO, -
 300...500 - 0,005-0,012, 2 2 =
 , 3) - . -
 2' 500 - , , -
 , 0,001.
 [(2' 4' , 2005].), 2, (N₂ = 0,002). -
 300...600 C, , -
 [, , 1985]. -
 , - -
 300 , -
 , 2' 4 -
 , - -
 - - 2 3 . -
 . -
 , 2' , - 2' 4' 1 . -
 , - 2 -
 2' 4 - , (,
 2) .) .

100-300 300-600

№ пробы	Порода, стадия	100-300°C						300-600°C							
		H ₂ O	CO ₂	CO	N ₂	H ₂	CH ₄	ΣC _n H _m	H ₂ O	CO ₂	CO	N ₂	H ₂	CH ₄	ΣC _n H _m
1283	Серпентинит вмещающий	0,999	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,967	0,014	0,004	0,000	0,011	0,003	0,000
1303	То же	0,997	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,972	0,011	0,006	0,000	0,007	0,003	0,001	
1293-3	Хлоритолит м/з, I	0,999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,983	0,002	0,002	0,000	0,012	0,000	0,001	
1275-3	Хлоритолит ср/з, II	0,998	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,929	0,012	0,009	0,000	0,048	0,001	0,001	
1276	Хлорит кр/з прожилковый, II	0,995	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,978	0,005	0,002	0,000	0,013	0,001	0,001	
1285	Родингит ранний, I	0,998	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,981	0,003	0,002	0,000	0,012	0,001	0,001	
1268	То же	0,996	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,977	0,003	0,002	0,000	0,015	0,001	0,001	
1293-2	Родингит поздний, II	0,987	0,004	0,007	0,002	0,000	0,001	0,978	0,005	0,002	0,000	0,014	0,001	0,001	
1281	То же	0,998	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,942	0,019	0,007	0,000	0,023	0,005	0,004	
1301	Кальцит прожилковый, III	0,989	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,935	0,039	0,004	0,002	0,015	0,002	0,002	

Примечание. Газовый состав флюидов определялся в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (аналитик С.Н. Шанина) на газовом хроматографе «Цвет-800», 500 0,25-0,5

Порода, стадия	Минерал	Изотопный состав минералов, ‰ SMOW (число анализов)		Изотопный состав воды флюида, ‰	
		δ ¹⁸ O	δD	δ ¹⁸ O	δD
Ранний родингит, 1	Хлорит	+6,1...+6,5 (3)	-42,8...-44,3 (3)	+7,2...+7,8	-3,6...-13,4
	Андратит	+2,0...+3,6 (3)		+5,6...+5,9	
	Диопсид	+6,0...+6,6 (3)		+7,8...+8,3	
Хлоритолит, 1	Хлорит	+6,4...+6,6 (2)		+6,5...+7,9	-14,6...-24,4
	Андратит	+3,8 (1)		+6,3...+6,7	
Поздний родингит, 2	Диопсид	+6,1...+6,4 (4)		+7,8...+8,3	
	Хлорит	+5,9...+6,3 (4)	-49,8...-64,4 (2)	+7,1...+7,7	-9,8...-34,2
Хлорит-кальцитовые прожилки, 3	Хлорит	+5,5...+7,7 (2)	-62,8 (1)	+3,7...+5,7	-17...-18

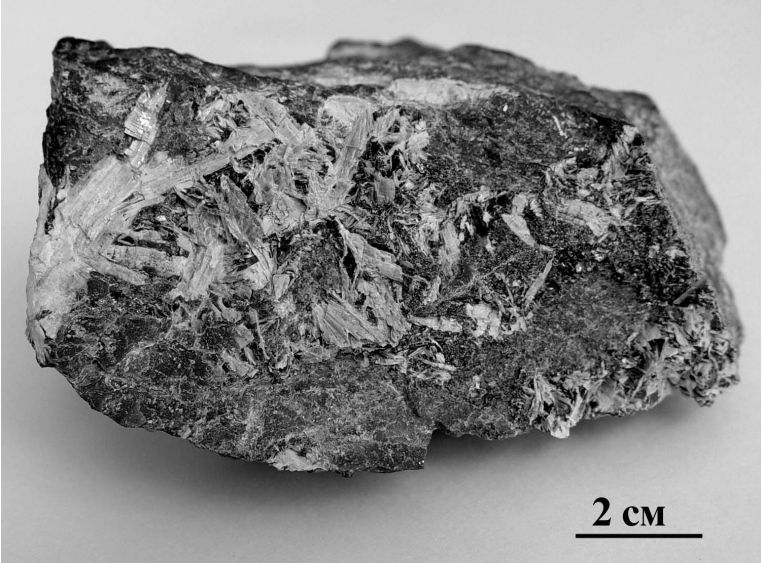
Примечание. Расчет изотопного состава кислорода флюида проведен для температурных диапазонов 400-500°C (1 и 2 стадии) и 230-310°C (3 стадия) по равновесию [Graham et al., 1984; Taylor, 1974].

δ^{18}
 5,5...7 ‰, 2...3,8 ‰,
 (. . . , . . . , . . .)
)
 « . . . »
 (. . .)
 , . . . (. . .)
 (. . .)
 $\delta D = -42,8 \dots -44,3 \text{ ‰}$
 , . . . (. . .) , . . .
 , . . .) , . . .
 $\delta D = -53,3$
 $\delta D = -49,8$
 [. . . , . . .]
 1997]. ,
 3 $\delta D = -62,8 \text{ ‰}$
 0,1...-1,8 ‰ $\delta^{18} = 10,6 \dots 11,4 \text{ ‰}$ (. 3).
 δ^{18}
 $\delta^{18} = 5,9 \dots 8,3 \text{ ‰}$ (. 2).
 $\delta^{18} = 2,3 \dots 5,9 \text{ ‰}$
 $\delta^{18} = 3,7 \dots 5,7 \text{ ‰}$
 (, O, D) ,
 1 2 .
 3 ,
 $\delta^{18} = 19 \dots 21,3 \text{ ‰}$ (. . 3), . . .
 $\delta^{18} = 6,8 \dots 6,9 \text{ ‰}$
 $\delta D = -127 \dots -128 \text{ ‰}$
 [. . . , 1989].
 $\delta^{18} = -0,9 \text{ ‰}$ 3 $\delta^{13} = +2,2 \dots$
 $-0 \dots +5 \text{ ‰}$
 [. . . , 1989]. , 3
 [. . . , 2004]. (. . .)

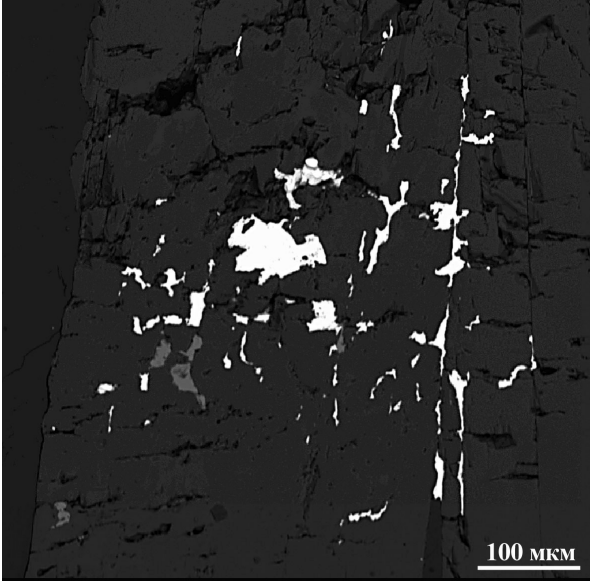
№ обр.	Характеристика образца с кальцитом	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ PDB	$\delta^{18}\text{O}$ ‰, SMOW	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{CO}_2}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)
1296	Диоксидный родингит с прожилково-гнездовым кальцитом	+0,1	+11,2	+1...+2,2	+20,9...+19,9	+2,9...+5,7
1297	Гранат-хлорит-диоксидный родингит с прожилками кальцит-хлоритового состава	-1,2	+11,4	-0,3...+0,9	+21,1...+20,1	+3,1...+5,9
1300	Кальцит-хлоритовая порода с реликтами антигоритового серпентинита	-0,9	+11,2	0,0...+1,2	+20,9...+19,9	+2,9...+5,7
1301	Кальцит-хлоритовая порода на контакте родингита и серпентинита	-1,8	+10,6	-0,9...+0,3	+20,3...+21,3	+2,3...+5,1
Общие вариации изотопного состава флюида						

Панкратова, В.В. Исследования состава CO_2 флюида в породах по коэффициентам дробления изотопов кислорода и углерода для 230-310°С по методу [Zheng, 1999].

.3.
-
-
().
-
-



- AuCu (0,2 % Ag),
, AuCu₃.
-
-
- - 670-860, (
- 2 %) (1,2 %).
-
- (6 % FeO),
-
- (0,2 % Ti).
-
(2-3)
- - Ni₁₁As₈
(2,1-2,3 % Co) NiAs (0,6-0,9 % Co)
, 0,4-0,7 % Fe),
-
, (1)
(.3).
-
, ,
(.4).
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-



.4. (-) ()

(4,5 % Al_2O_3), 1,4-5,4 % TiO_2 0,2-4,4 % Cr_2O_3 .

(1 % FeO) (5-6 % FeO).

(4-9 % FeO). (-)

($\epsilon_2 = 0,956$),

(ϵ_2-S_1),

- $\epsilon_2 = 0,009$.

(. . . , . . . , 1975).

., 2003].

[30 , 1 .

(?)

20 ,

AuCu

AuCu₃,

, , , - - , , -

, , , (D₁₋₂).

, , , - -

, , , - -

- - - , - . , ,

, , , , .

, , , .

, 3 - . , - -

1 .% .

(). 1-2 5-7

-

-

[, 2001; , 2000]. - , ,

(,), - - -1 . 100-150 , -

, - , - - -

(1 %) - - , -

, . -

- (. 5). 150-200

. « »

Pt Pd (135-1170

/, 470 /). « » (

(1560-2000 /) 4030 / 1890 / 5) - -

(2640-6720 /) [, , 2003]. -

. - - -

. - -

- - -

, 1984 - -

[, 2003]. - , -

, - (-

, - (- AuCu)

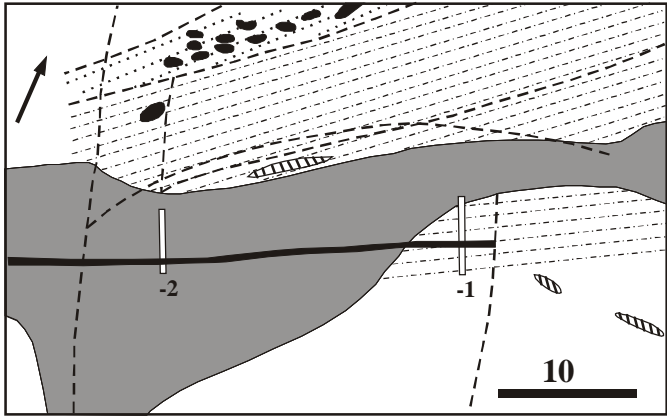
17,5 . (AuCu₃).

, - (1,6 % Hg)

- 468-614. , , -

, - .

- , -



5. ([, , 2003]).
 1 - ; 2 - ; 3 -
 ; 4 - ; 5 -
 ; 6 -
 ; 7 - ; 8 -
 ; 9 - .

[, 1987].

«
 », 1990. «
 », 1987].
 (. 6).
 ».

410 .

AuCu

1987].

$\rho_2 = 0,88-0,92$

($\rho_2 = 0,021-0,025$)

($\rho_2 = 0,049-0,073$).

2005].

[, 1974].
 20-50
 ().
 «15
 »,
 250 [Knight, Leitch, 2001].
 0,1 0,25 AuCu
 Au₂Cu.
 1 10 ((?) Ca-Al (?, ?), Ni-Sb , (,) (5 %). 230-280 -0,2 -1,4 1-2 % NaCl. 30-43 Mg (Mg 3,7-8,6 % 765-812 Ca). [1974], , 1998; , 2004; [

. 6. ().
 ().



2004].

470-480 [, 1998].

3-5 %

2-3 , 4,

30 %

10 . %

(1,7 /) (1,5 /), (0,55 /).

(900) « » (Fe, Ti, P, Cu).

() ()

/ . Pt (0,16 /), Pd (0,19 /), Ag (1,1 /) Ag (0,2 /).

Au-Ag (), Au-Hg (20,7-24,8 %Hg), Au-Ag-Cu, Cu-Au-Hg-Sn, - 50

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В РОДИНГИТАХ

4

Месторождение, проявление БМ	Минеральный состав и стадийность формирования	Субстрат родингита	РТХ-условия формирования	Предполагаемый источник флюида и рудного вещества
Золотая Гора (Ю. Урал)	1)*хлорит, андрадит, диопсид 2)*диопсид, андрадит, магнетит, ильменит, халькозин 3)*кальцит	Серпентинит, пироксенит (?) Значительна роль тел выполнения	T=470-230° С, P=1-2 кбар. Флюид водный, восстановленный, обогащенный H ₂ и CH ₄ . X _{CO₂} = 0,001-0,019	Флюид, освободившийся при дегидратации океанических серпентинитов, источник золота – ультраосновные породы.
Мелентьевское (Ю. Урал)	1) хлорит 2)*хлорит, диопсид, магнетит	Серпентинит, прожилки выполнения	Флюид водный, восстановленный, обогащенный H ₂ и CH ₄ . X _{CO₂} = 0,009	
Россыпь Моховое болото (Ю. Урал)	*андрадит, клинохлор, диопсид, магнетит, карбонат	Тела выполнения		
Крака (Ю. Урал)	*амфибол (актинолит, тремолит), хлорит, пренит, эпидот, клиноцоизит	Габбро		Флюид серпентинизирующий, источник БМ – гипербазиты
Салатимский пояс (Сев. Урал)	1)*цоизит, гранат, везувиан, хлорит 2) хлорит, тальк	Метадиабазы, серпентинит		
Агардагское (Ю. Тува)	1)*пироксен (диопсид-геленбергит), альбит, амфибол 2)*альбит, амфибол, сульфиды (халькозин)	Серпентинит, габбро-диориты?, прожилки выполнения	T > 410°С. Флюид существенно водный, восстановленный, обогащенный H ₂ . X _{CO₂} = 0,021-0,025	
Коряжское Нагорье	*гранат, диопсид, тремолит, актинолит, цоизит, хлорит, ксонолит, пектолит, пренит,	Серпентинит		
Березка (Сахалин)	1) клинопироксен, амфибол 2)*хлорит, пектолит, пренит, натролит 3)*анальцит, альбит, хлорит, дадолит, пренит, пектолит, натролит, сульфиды (пирит, халькопирит)	Габброиды, жилы выполнения	Флюид щелочной, относительно низкотемпературный	
15 Миль (Канада)	*гроссуляр, диопсид		T > 280°С. Флюид с концентрацией солей 1-2% экв. NaCl	
Хурай-Жалпигское (В. Саяны)	*андрадит, диопсид, хлорит, сульфиды (пирит, халькопирит), тремолит, магнетит	Апогабброидные амфиболиты		Флюид из глубинных частей зоны субдукции

... , ... , ... , ...
, 500-600 – -
[, 1998]. Na- (,
- [, 1976;
1993,]. , -
, - ,
-, - .
400 1-3 .
(, ,), [, 1998].
, - , -
, - -
 $\alpha_2 < 0,1$ $\alpha_2 = 0,01-0,1$.
[, 1993;
1992,], 1991; O'Hanley et al., - , -
- - -
- - -
- - -
- - -
(, - , -
). [, 1982].
, , -
, - -
, - -
(). , -
- -
, [, 1998;
1993] [Na- , 2004]. -
400 , -

, [, 2002].
 « » , ,
 (), [Coleman,
 1963; , 1982; , 1983; ,
 , 1993; , 1998; , 2002;
 , 2002; O'Hanley et al.,
 1992, .]. $\delta D = -40 \dots -60 \text{ ‰}$.
 , (10 ‰),
 ($\delta_2 > 0,1$) , [,
 , 1985] , «
 , »,
 [, 1982].
 (, N_2 , CH_4 , H_2).
 (800)
 [, , 2005].
 ,
 $\delta_2 = 0,12-0,47$,
 $- 0,03-0,21$ (
 $- N_2$ 0,56),
 0,03-0,08 0,2.

(163 /),
(47 /),
(5 /).

1.

(04-05-64679),
(.2.1.1.1840),
(- 112/001/081).

2.

, 2003. 40 .
, 1983. 72 .
//
. 1. . 187-195.
//

3.

1974. . 63-67.
// . 2004. . 395. 3.
. 392-396.

4.

// . 1990. 2.
. 73-78.

5.

// . 2004. . 45. 5. . 577-587.
()-
[. 1998. . 361. 4. . 510-513.

1998],

) // . 1985. . 285. 4. . . . 1989. 11. . 94-104.
 . 963-966.
 // . 1959. . 128. 6. . 1250- -2004. -
 1253. : , 2005. . 343-350. -
 // - // . 1977. -
 . 106. . 5. . 540-552. -
 : , 2003. . 45-48. // 200 -
 : , 1948. . 285-295. -
 // - // -
 1976. . 85-92. . . . : , . 1991. . 319. 2. . 475-478. -
 // . 4. - // . -
 , 1935. . 35-44. 1993. . 1. 5. . 557-568. -
 // - // . 1979. -
 () // . 108. . 3. . 317-326. -
 : . 2005. 4. . 90-95. . . . « . » -
 (,) // -
 // , 2003. . 183-193. -
 . 7. : - , // . 1974. -
 2005. . 28-35. 2. . 49-53. -
 // . 1987. 5. // -
 . 96-99. // , 2000. . 199-203. -
 // . 1999. . 366. 6. . 797- -
 798. , 1984. 208 . -
 (.) // (-
 , 1998. 181 .) . :
 , 2004 . . 280-283. // .
 2002. 4. . 63-77. -
 () // -2003. : // . 1982. -
 , 2004 . . 333-338. . 262. 1. . 175-177. -
 // . -

2001. 212 . NERC 6th Progress Report of Research 1981-1984, NE-RC Publication. Series D. 1984. . 25. P. 139.
-), (- - *Knight J., Leitch C.H.B.* Phase relations in the system Au-Cu-Ag at low temperatures, based on natural assemblages // *Can. Mineral.* 2001. V. 39. P. 889-905.
-), (« - - *Ohmoto H., Rye R. O.* Isotope of sulfur and carbon // *Geochemistry of Hydrothermal deposits* / H.L. Barnes (ed.). London: John Wiley and Sons, 1979. P. 509-567.
- »). ∴ - , 1997. 192 . *Taylor H.P.Jp.* The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition // *Econ. Geol.* 1974. V. 69. P. 843-883.
-)// . 2002. *Wenner D.B., Taylor H.H.Jr.* Oxygen and hydrogen isotope studies of the serpentinization of ultramafic rocks in oceanic environments and continental ophiolite complexes // *American J. Sci.* 1973. V. 237. P. 207-239.
12. . 1306-1313. *Zheng Y.-F.* Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1993a. V. 57. P. 1079-1091.
1989. 590 . *Zheng Y.-F.* Calculation of oxygen isotope fractionation in hydroxyl-bearing silicates // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1993b. V. 120. P. 247-263.
- Coleman R.G.* Serpentinites, rodingites and tectonic inclusions in Alpin-type mountain chains // *Spec. Pap.* 1963. 73. 49 p. *Zheng Y.-F.* Oxygen isotope fractionation in carbonate and sulfate minerals // *Geochem. J.* 1999. V. 33. P. 109-126.
- O'Hanley D.S., Schandl E.S., Wicks F.J.* The origin of rodingites from Cassiar, British Columbia, and their use to estimate T and P_(H₂O) during serpentinization // *Geochim. Cosmochim. Acta* 1992. V. 56. 1. P. 97-108.
- Graham C.M., Atkinson J., Harmon R.S.* Hydrogen isotope fractionation in system chlorite-water //