

УДК 622.693:549.1(477.6)

Канд. геол. наук ПАНОВ Ю.Б., докт. геол.-мин. наук ПАНОВ Б.С. (Донецкий национальный технический университет), докт. ГРИФФИН В.Л. (CSIRO, г. Сидней, Австралия)

## ВОЗРАСТ И СОСТАВ ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ ВОЛЫНСКОГО БЛОКА УКРАИНСКОГО ЩИТА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО АЛМАЗОНОСНОСТИ

В геологическом отношении большая часть территории Украины представлена Украинским щитом (УЩ) и является юго-западной частью Восточно-Европейской алмазонасной провинции. По всем имеющимся признакам, УЩ перспективен для выявления, как коренных, так и россыпных месторождений алмазов. К настоящему времени в его пределах выделено пять площадей, перспективных на открытие коренных месторождений алмазов: Приазовье, Центральная и Западная части щита, Волынское палеозойское поднятие и Среднее Приднестровье.

В 90-х годах XX века были разработаны новые методы исследований типохимизма минералов-спутников алмаза, существенно повышающие эффективность прогнозных и поисково-оценочных работ на этот ценный вид сырья. Группа исследователей под руководством профессора В.Л.Гриффина (Университет Макуори и Объединенная организация научных и инженерных исследований, CSIRO, г. Сидней, Австралия), изучила более 3000 проб кимберлитов и около 45000 зерен хромпиروпа и других минералов-спутников алмаза из различных регионов мира, и создала не имеющий аналогов банк данных о распределении в этих минералах таких элементов-примесей как никель, цирконий, цинк, иттрий, галлий, скандий, ниобий, редкие земли и др. Принципиально новая информация, полученная с помощью уникального лабораторного оборудования (в том числе протонного микроанализатора РМР с ускорителем частиц NIAF), позволяет оперативно и экономически эффективно оценивать алмазонасность кимберлитовых и лампроитовых тел. При этом был установлен также необратимый фактор изменения химического состава литосферной мантии в течении истории Земли, что позволило выделить три типа кратонов с кимберлитами и лампроитами: архоны (тектонотермальный возраст более 2,5 млрд.лет), протоны (2,5–1 млрд.лет) и тектоны (менее 1 млрд.лет) [1].

В связи с мантийными процессами, которые влияют на образование гарцбургитовых или лерцолитовых перидотитов и гранатов, мощность литосферы под архонами составляет 220–180 км, под протонами 180–140 км, а под тектонами – до 100 км.

Субкальциевые гарцбургиты с содержанием СаО в хромпиропах от 2,5 до 5% и  $Cr_2O_3$  от 4 до 8% характерны для архонов, тогда как для протонных лерцолитов эти значения составляют 4–7% СаО и 2–6%  $Cr_2O_3$ . Тектоновые (фанерозойские) лерцолиты содержат 4,5–6% СаО и 1–2,5%  $Cr_2O_3$ .

Средние содержания Zr и Y, Zr/Y и Y/Ga отношения, а также количество  $TiO_2$  в гранатах из лерцолитов от архона к протону и тектону уменьшаются, что связано с увеличением роли клинопироксенов и гранатов в этих породах. Характерны следующие содержания этих элементов для гранатов из архонов: Zr=55–26, Y=17–9,  $TiO_2$ =4000–825, Ti/Y=200–49, Y/Ga=2,4–1; из протонов: Zr=43–12, Y=24–8,  $TiO_2$ =3080–850, Ti/Y=159–31, Y/Ga=3,2–1,2; из тектонов: Zr=37–9, Y=44–21,  $TiO_2$ =2200–640, Ti/Y=42–10, Y/Ga=11,0.

В данной статье приведены данные по содержанию редких и малых элементов в 33 зернах хромпиропов из Кухотских верхнемеловых отложений Волынского блока УЩ (табл. 1).

Табл. 1. Распределение редких и редкоземельных элементов в пироксах из Кухотских верхнемерловых отложений Волынского блока УЩ

проба	зерно	Sc	Ti	V	Co	Ni	Ga	Sr	Y	Zr	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb	Lu	HF
ukr-V-r5-1	1	82,2	3919	181	34,1	31,2	7,90	1,16	26,0	47,3	0,04		0,57	0,14	0,61	0,88	0,51	2,10	4,10	1,09	3,20	3,40	0,51	1,20
ukr-V-r5-2	2	108	1975	128	39,3	32,1	5,70	0,14	30,7	39,0	0,05	0,01	0,53	0,03	0,37	0,71	0,45	2,24	4,40	1,14	3,60	4,10	0,67	0,90
ukr-V-r5-3	3	85,1	3013	171	40,9	40,6	9,80	0,09	18,1	26,8	0,06	0,01	0,06	0,03	0,35	0,45	0,27	1,27	2,80	0,67	2,14	2,34	0,35	0,54
ukr-V-r5-4	4	97,3	2410	176	38,8	43,0	5,00	0,14	23,8	36,1	0,10	0,02	0,13	0,05	0,53	0,69	0,35	1,84	3,80	0,93	3,00	3,10	0,49	1,02
ukr-V-r5-5	5	109	674	138	36,4	17,9	4,30	0,05	21,8	8,00	0,07	0,00	0,05	0,01	0,17	0,27	0,17	1,15	3,00	0,84	2,70	3,40	0,55	0,21
ukr-V-r5-6	6	114	1315	178	37,6	25,3	5,20	0,24	18,4	18,0	0,23	0,02	0,22	0,08	0,67	0,47	0,23	1,25	2,70	0,66	2,20	2,70	0,42	0,55
ukr-V-r5-7	7	95,4	1317	93,8	34,1	29,1	4,60	0,13	30,2	24,5	0,03		0,05	0,02	0,43	0,55	0,34	2,07	4,50	1,12	3,60	3,80	0,60	0,39
ukr-V-r5-8	8	99,1	1953	181	35,1	30,6	8,20	0,11	21,7	26,4	0,05	0,01	0,11	0,04	0,49	0,58	0,34	1,80	3,50	0,86	2,50	2,40	0,38	0,65
ukr-V-r5-9	9	95,1	2828	181	37,3	50,1	7,70	0,32	24,6	37,9	0,11	0,06	0,19	0,06	0,79	0,73	0,40	1,84	3,50	0,89	2,80	3,10	0,53	1,03
ukr-V-r5-12	10	96,0	1328	152	34,4	12,2	6,80	0,11	17,8	21,1	0,04	0,01	0,08	0,03	0,38	0,54	0,30	1,68	2,70	0,68	1,83	1,77	0,28	0,51
ukr-V-r5-13	11	80,8	3596	154	39,5	38,8	10,3	0,12	25,1	40,1	0,03		0,05	0,03	0,37	0,50	0,31	1,66	3,80	0,97	3,00	3,20	0,53	0,76
ukr-V-r5-14	12	93,4	1586	132	37,4	23,0	6,90	0,08	29,5	26,5	0,08		0,09	0,04	0,38	0,71	0,35	2,08	4,50	1,11	3,30	3,40	0,59	0,63
ukr-V-r5-15	13	125	1175	206	36,6	43,7	4,70	0,05	17,8	6,90	0,17	0,01	0,09	0,03	0,22	0,28	0,16	0,97	2,40	0,68	2,30	2,80	0,49	0,36
ukr-V-r5-17	14	90,1	1899	107	36,7	22,6	5,00	0,21	27,7	39,2	0,04	0,01	0,07	0,04	0,63	0,76	0,45	2,40	4,20	1,06	3,20	3,20	0,53	0,74
ukr-V-r5-19	15	96,0	1067	107	36,3	23,7	5,40	0,17	28,8	28,1	0,08	0,02	0,24	0,08	0,94	0,84	0,34	2,15	4,20	1,06	3,30	3,70	0,59	0,43
ukr-V-r5-20	16	101	1774	99,7	36,1	40,6	4,70	1,13	39,3	42,9	0,18	0,15	0,49	0,09	0,72	0,83	0,39	2,50	5,30	1,45	4,50	5,50	0,94	0,78
ukr-V-r5-21	17	81,3	3769	168	39,1	61,2	9,10	1,50	24,2	48,1	1,30	0,90	2,10	7,80	0,80	1,70	0,48	1,70	3,70	0,94	2,70	2,60	0,60	1,10
ukr-V-r5-22	18	72,6	1672	120	35,3	25,7	6,00		26,4	17,2		0,20	0,17		0,80	0,60	1,60	1,60	4,10	1,30	3,70	3,50	0,50	
ukr-V-r5-23	19	115	1013	104	34,9	30,4	4,50	0,13	28,4	18,0	0,05	0,15	0,09	0,03	0,35	0,55	0,30	1,80	4,10	1,04	3,40	3,60	0,62	0,27
ukr-V-r6-1	20	143	4668	262	35,6	86,5	6,90	0,71	19,2	128	0,53	0,08	0,68	0,24	3,00	1,78	0,70	3,20	3,70	0,73	1,91	1,86	0,32	3,40
ukr-V-r6-2	21	105	1752	150	33,6	26,7	6,00	0,13	26,7	40,4	0,17		0,13	0,07	0,79	0,91	0,43	2,40	4,30	1,01	3,10	3,40	0,51	0,89
ukr-V-r6-3	22	110	1928	103	35,4	13,8	4,20	0,22	42,7	40,9	0,05		0,04	0,03	0,68	0,90	0,52	2,70	6,40	1,62	5,60	5,90	1,02	0,84
ukr-V-r6-4	23	157	1964	195	35,2	27,1	5,70	0,31	17,9	25,7	0,17	0,03	0,25	0,09	1,21	1,05	0,41	1,86	2,70	0,66	1,98	2,30	0,38	0,72
ukr-V-r6-5	24	94,0	2334	157	36,3	29,9	8,70	0,09	24,1	31,5	0,03	0,01	0,09	0,03	0,41	0,60	0,31	1,78	3,60	0,90	2,80	3,20	0,50	0,61
ukr-V-r6-6	25	93,6	3230	154	37,0	33,3	7,10	0,26	31,7	53,8	0,05	0,01	0,13	0,07	0,77	1,07	0,51	2,60	4,60	1,17	3,70	3,90	0,64	1,19
ukr-V-r6-7	26	115	2171	137	35,5	38,2	6,10	0,44	32,7	36,7	0,05	0,01	0,09	0,05	0,86	0,88	0,49	2,90	5,10	1,21	3,50	3,30	0,52	0,87
ukr-V-r6-8	27	114	1853	115	34,9	15,4	5,00	0,15	39,5	48,8	0,04		0,05	0,03	0,54	0,83	0,48	2,90	5,90	1,46	4,80	4,80	0,75	0,97
ukr-V-r6-9	28	111	1559	127	36,0	12,3	6,80	2,60	26,6	32,6	0,40	0,61	1,60	0,46	81,3	1,50	0,31	2,80	4,20	1,08	3,20	3,50	0,63	0,50
ukr-V-r6-10	29	83,6	1237	120	36,5	25,4	8,20	0,32	21,8	29,4			0,10	0,07	0,27	0,57	0,30	1,90	3,20	0,88	2,50	2,50	0,42	0,60
ukr-V-r6-23	30	128	1667	134	43,7	22,2	7,30	0,25	37,7	35,8	0,10	0,06	0,12	0,06	0,47	0,69	0,38	2,30	5,60	1,40	4,60	4,90	0,77	0,56
ukr-V-r7-6	31	183	334	204	32,5	27,6	3,20	0,30	3,50	5,50	0,31	0,08	0,61	0,23	1,81	0,37	0,10	0,24	0,36	0,10	0,49	0,93	0,19	0,10
ukr-V-r7-25	32	109	2189	195	35,4	26,5	7,80	0,13	20,1	25,0	0,05	0,01	0,10	0,03	0,56	0,59	0,35	1,76	3,00	0,73	2,30	2,50	0,36	0,70
ukr-V-r7-26	33	135	2179	188	35,6	24,7	5,90	0,22	18,8	34,6	0,08		0,58	0,06	0,69	0,94	0,45	2,20	3,10	0,71	1,80	1,81	0,35	0,89

Определить палеогеотермальные условия образования кимберлитов можно с помощью Ni-термометра и Cr-барометра. Ni-термометр основан на том, что каждое зерно пироба, содержащего более 1,5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (т.е. глубинного Cr-пироба), образовалось в одинаковых равновесных условиях с оливином мантийных ксенолитов. В этой паре сосуществующих минералов количество никеля отражает температуру мантийных пород при эруптивном внедрении в них кимберлитовой магмы. Ni-термометр не чувствителен к составу основных компонентов пироба и давлению, что позволяет по содержанию никеля в каждом исследованном зерне пироба определить температуру его образования с точностью до 50 градусов [2] (рис. 1, 2; табл. 2, 3).

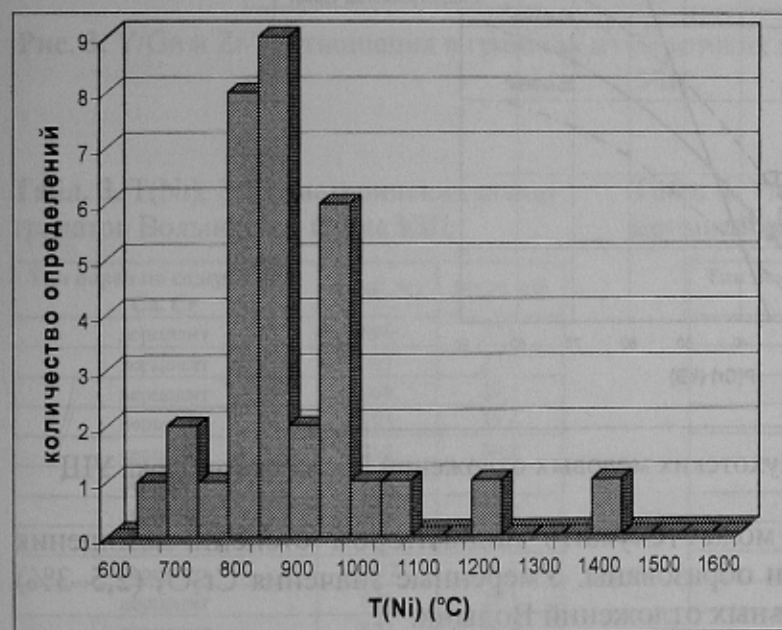


Рис. 1. Распределение T(Ni) в гранатах из Кухотских меловых отложений Волынского блока УЩ

Табл. 2. Температура образования гранатов из меловых отложений Волынского блока УЩ

T(Ni) (°C)	Количество определений
600	0
650	1
700	2
750	1
800	8
850	9
900	2
950	6
1000	1
1050	1
1100	0
1150	0
1200	1
1250	0
1300	0
1350	0
1400	1
1450	0
1500	0
1550	0
1600	0

Наиболее низкая геотерма, соответствующая 35 мВт/м<sup>2</sup>, определена по гранатам из кимберлитов Волыни. Гранаты из меловых отложений Волынского региона также показывают относительно низкие значения геотерм – около 40 мВт/м<sup>2</sup>. Примерную мощность литосферы (толщи, состоящей из стабильного, относительно деплетированного материала, в отличие от конвективной и обогащенной широким набором элементов астеносферы), можно установить по температуре образования высокохромистых (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>1,5%) пиробов с низким содержанием Zr, TiO<sub>2</sub> и, особенно, Y. Оценка мощности литосферы произведена по наличию в выборках гранатов хромпиробов с содержанием иттрия около 10 г/т, т.е. образовавшихся в условиях стабильной литосферной мантии [3].

Низкие средние содержания Y (13–15 г/т), типичные для лерцолитовых гранатов архейского-протерозойского типа мантии обнаружены в гранатах из кимберлитов Волынского блока УЩ. Умеренные значения содержания Y (20–21 г/т) типичные для гранатов, образованных в мантии протерозойского возраста также установлены в образцах из осадочных отложений. Таким образом, гранаты из меловых отложений Волынской площади указывают на мощность литосферы около 130 км.

Содержание Zr в гранатах определяется процессами деплетации (истощения) и метасоматоза (обогащения). Содержания Zr порядка 30 г/т характерны для гранатов из относительно недеплетированной мантии. Более низкие значения (10 г/т и менее) указывают на значительную деплетацию материнских пород гранатов, а более высокие (более 40 г/т) предполагают наличие постгенетических метасоматических процессов. Высокие средние значения содержания Zr обнаружены в гранатах из кимберлитов Волыни (48–60 г/т). Такие концентрации характерны для многих кимберлитовых гранатов из различных регионов мира, подвергнувшихся воздействию процессов метасоматоза.

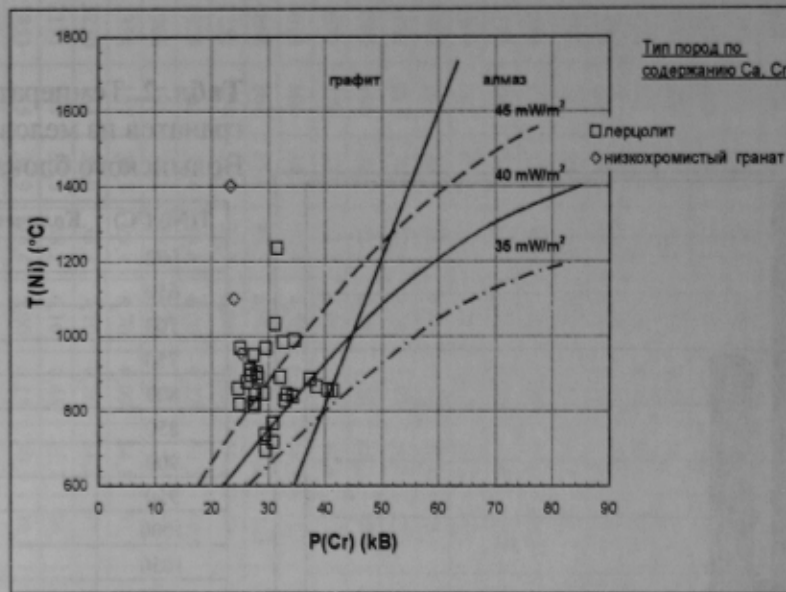


Рис. 2. T(Ni) и P(Cr) в гранатах из Кухотских меловых отложений Волынского блока УЩ

Содержание Cr в гранатах может служить индикатором степени истощения литосферной мантии, в которой они образованы. Умеренные значения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,5–3%) определены в гранатах из аллювиальных отложений Волыни.

Y/Ga и Zr/Y отношения в мантийных гранатах также отражают степень деплетации мантии (как cpx/gnt, так и полным модальным cpx+gnt) и позволяют выявить типичные архоны, протоны и тектоны в пределах изучаемой площади [4].

Пироп из меловых отложений Волынской площади демонстрирует отношения Y/Ga и Zr/Y типичные для мантийных образований протерозойского возраста (протон). Все другие пробы имеют высокие значения Y/Ga (более 4,3) и низкие Zr/Y (1,2–1,4), что наблюдается в гранатах, образованных в мантии фанерозойского возраста (тектон) (рис. 3; табл. 4).

Таким образом, гранаты из меловых отложений Волынского-Кухотской площади, обладая рядом свойств, характерных для мантии протонного типа, демонстрируют вместе с тем эволюцию от протонного типа мантии к тектоновому типу (высокие содержания в гранатах Y и высокие Y/Ga отношения).

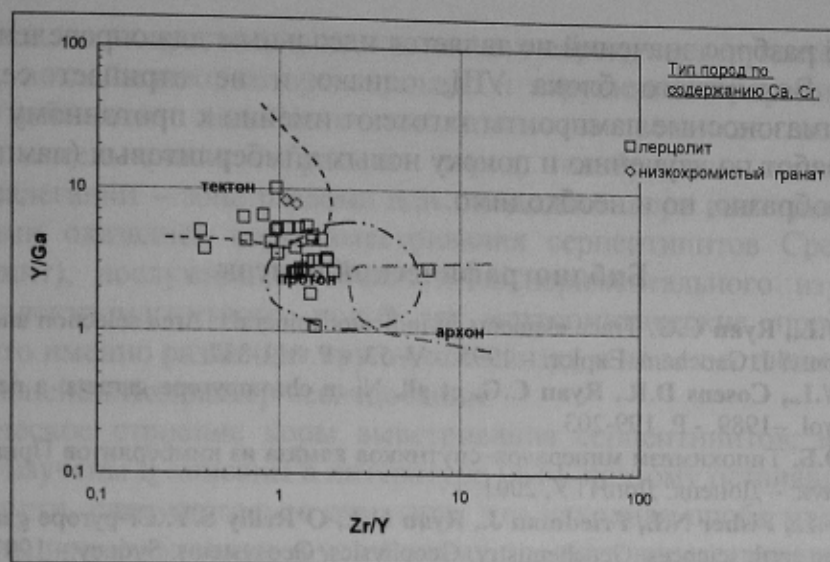


Рис. 3. Y/Ga и Zr/Y отношения в гранатах из Кухотских меловых отложений Волынского блока УЩ

Табл. 3. T(Ni), P(Cr) материнских пород гранатов Волынского блока УЩ

Тип пород по содержанию Са, Сг	T(Ni), °C	P(Cr), кВ
лерцолит	896	27,0
лерцолит	903	27,9
лерцолит	968	29,5
лерцолит	985	32,6
лерцолит	768	30,8
лерцолит	844	33,2
лерцолит	878	26,2
лерцолит	891	32,1
лерцолит	1032	31,1
лерцолит	695	29,5
лерцолит	822	27,4
лерцолит	989	34,6
лерцолит	818	24,9
лерцолит	829	32,9
лерцолит	968	25,1
лерцолит	848	29,1
лерцолит	889	28,1
лерцолит	1235	31,5
лерцолит	857	40,4
лерцолит	717	30,9
лерцолит	860	24,7
лерцолит	885	37,3
лерцолит	913	26,8
лерцолит	950	27,4
лерцолит	738	29,4
лерцолит	845	27,7
лерцолит	814	27,6
лерцолит	865	38,5
лерцолит	855	41,3
лерцолит	838	34,3
лерцолит		15,2
низкохромистый гранат	955	25,2
низкохромистый гранат	1100	23,9
низкохромистый гранат	1403	23,3

Табл. 4. Y/Ga, Zr/Y материнских пород гранатов Волынского блока УЩ

Тип пород по содержанию Са, Сг	Y/Ga	Zr/Y
лерцолит	3,29113924	1,81923077
лерцолит	5,38596491	1,27035831
лерцолит	1,84693878	1,48066298
лерцолит	4,76	1,51680672
лерцолит	5,06976744	0,36697248
лерцолит	3,53846154	0,97826087
лерцолит	6,56521739	0,81125828
лерцолит	2,64634146	1,21658986
лерцолит	3,19480519	1,54065041
лерцолит	2,61764706	1,18539326
лерцолит	4,27536232	0,89830508
лерцолит	3,78723404	0,38764045
лерцолит	5,54	1,41516245
лерцолит		2,01219512
лерцолит	5,33333333	0,97569444
лерцолит	2,65934066	1,98760331
лерцолит	4,4	0,65151515
лерцолит	6,31111111	0,63380282
лерцолит	2,7826087	6,640625
лерцолит	4,45	1,51310861
лерцолит	10,1666667	0,95784543
лерцолит	3,14035088	1,43575419
лерцолит	2,77011494	1,30705394
лерцолит	4,46478873	1,69716088
лерцолит	5,36065574	1,12232416
лерцолит	3,91176471	1,22556391
лерцолит	2,65853659	1,34862385
лерцолит	5,16438356	0,94960212
лерцолит	1,09375	1,57142857
лерцолит	2,57692308	1,24378109
лерцолит	3,18644068	1,84042553
низкохромистый гранат	2,4368932	1,59760956
низкохромистый гранат	8,36170213	1,09160305
низкохромистый гранат	7,9	1,23544304

Подобный разброс значений не является идеальным для определения перспектив алмазности Волынского блока УЩ, однако и не отрицает ее, потому как промышленно алмазносные лампроиты тяготеют именно к протонному типу кратонов и продолжение работ по изучению и поиску новых кимберлитовых (лампроитовых) тел не только целесообразно, но и необходимо.

### Библиографический список

1. Griffin W.L., Ryan C.G. Trace elements in indicator minerals: Area selection and target evaluation in diamond exploration. // J. Geochem. Explor. – 1995. - V. 53. - P. 311-337.
2. Griffin W.L., Cosens D.R., Ryan C.G. et al. Ni in chrompyrope garnets: a new thermometer. // Contrib. Mineral. Petrol. – 1989. - P. 199-203.
3. Панов Ю.Б. Типохимизм минералов-спутников алмаза из кимберлитов Приазовья : Автореф. дис. ... канд. геол. наук. – Донецк: ДонНТУ, 2001.
4. Griffin W.L., Fisher N.I., Friedman J., Ryan C.J., O'Reilly S.Y. Cr-pyrope garnets in lithospheric mantle // Journal of the earth sciences. Geochemistry. Geophysics. Geosystems. Sydney. – 1997 - №12. - P. 1-35.

© Панов Ю.Б., Панов Б.С., Гриффин В.Л., 2008

УДК 552.08:53.002.61

Канд. геол. наук ПИКАРЕНЯ Д.С. (Национальный горный университет, г.Днепропетровск)

### ЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕТАСОМАТОЗА В ЗОНАХ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Зоны гидротермально-метасоматических изменений пород вызывают повышенный интерес, поскольку они всегда сопровождают эндогенную рудную минерализацию, а зачастую и сами являются источником полезных ископаемых. Изучение этих процессов породило множество споров и неоднозначных толкований одних и тех же явлений, однако все исследователи признают тот факт, что развитие гидротермальных метасоматитов всегда приурочено к разломам разного порядка в земной коре и тесно сопряжено с зонами трещиноватости, разуплотнения, расщепления пород и т.п.

Среди множества геологических и геофизических причин, обуславливающих локализацию метасоматитов в таких благоприятных тектонических зонах, особое место занимают естественные электромагнитные поля. Несмотря на то, что они, по мнению О.В.Орлинской [1], выступают четвертым фактором регионального метаморфизма и участвуют в минералообразовании и формировании новых структур и текстур [2], их влияние на гидротермально-метасоматические процессы исследовано очень слабо, хотя и не вызывает сомнений. Поэтому изучение воздействия этих полей на породы зон разломов является целью данной статьи.

Цель достигалась путем решения *следующих задач*: 1) выполнить эксперименты по тепловой и электромагнитной обработке пород; 2) установить природу происходящих в породе преобразований; 3) провести геологическую интерпретацию полученных результатов. Для решения первой задачи необходимо было отобрать пробу измельченных пород в естественном залегании.

Как известно, одной из особенностей глубинных разломов является наличие зон катаклаза и милонитизации. Установлено, что под воздействием тепловых и электромагнитных полей физико-химические превращения в рыхлых образцах становятся более интенсивными по мере снижения крупности частиц [3], однако эти