

УДК 622.693:549.1(477.6)

Ю. Б. Панов¹, Ю. А. Проскурня¹, В. Л. Гриффин²

¹ ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

²CSIRO, Сидней, Австралия

Оценка перспектив потенциальной алмазоносности геоблоков Украинского щита в зависимости от времени консолидации подстилающей субконтинентальной литосферной мантии

На основании изучения содержаний главных оксидных компонентов, а также (впервые для Украины) редких и редкоземельных элементов в хромпиروпах из кимберлитовых трубок и даек Восточного Приазовья, а также третичных и четвертичных отложений Волыни, Приднестровья, Приднепровья, Побужья и других районов УЩ, были выявлены их типохимические особенности. На основании этого установлены палеогеотермальные условия, существовавшие в литосферной мантии УЩ и время ее консолидации, что является одним из важнейших критериев при оценке перспектив алмазоносных кимберлитовых тел. Произведена их группировка на архоны, протоны и тектоны в зависимости от возраста последнего тектоно-магматического события. Сопоставление полученных данных с аналогичными сведениями по некоторым известным алмазоносным кимберлитовым телам мира позволило провести оценку перспектив промышленной алмазоносности изученных геоблоков УЩ.

Ключевые слова: литосферная мантия, Украинский щит, кимберлиты, алмазоносность.

В геологическом отношении большая часть территории Украины представлена Украинским щитом (УЩ) и является юго-западной частью Восточно-Европейской алмазоносной провинции. По имеющимся признакам, он перспективен для выявления как коренных, так и россыпных месторождений алмаза. К настоящему времени в пределах щита выделены пять площадей, в пределах которых возможна локализация коренных месторождений алмаза: Приазовье, Центральная и Западная части УЩ, Волынское палеозойское поднятие и Среднее Приднестровье.

В основу настоящей работы положены результаты определения содержания главных оксидных компонентов и (впервые для Украины) содержания малых и редкоземельных элементов в составе минерала-спутника алмаза – хромпиропа. Образцы граната были отобраны в разных регионах Украинского щита. Анализы выполнялись с помощью протонного и электронных микроанализаторов NIAF, SAMEBAH SX-50 и LAM-ICPMS в Главном национальном центре геохимической эволюции и металлогении континентов университета Макуори (Сидней, Австралия). Обобщение полученных данных проводилось с учетом нового способа оценки алмазоносности кимберлитов, разработанного австралийскими исследователями (В.Л.Гриффин, С.Райан и др.), установившими необратимый фактор изменения химического состава литосферной мантии в течение истории Земли и выделившими 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) [5,6].

Полученные данные позволили установить время консолидации субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) отдельных геоблоков УЩ, что является одним из важнейших критериев при оценке перспектив алмазоносности присутствующих в их границах тел кимберлитов.

В связи с мантийными процессами, по геохимическим данным, литосферой можно назвать толщу, состоящую из стабильного, относительно деплетированного материала, в отличие от конвективной и обогащенной широким набором элементов (циркония, титана и особенно иттрия)

© Ю. Б. Панов, Ю. А. Проскурня, В. Л. Гриффин, 2013

астеносферы. В соответствии с полученными данными можно предположить, что мощность литосферной мантии под архонами составляет 220-180 км, под протонами 180-140 км, а под тектонами – до 100 км [7].

Субкальциевые гарцбургиты с содержанием СаО в составе хромпиروпа от 2,5 до 5 мас.% и Cr₂O₃ от 4 до 8 мас.% характерны для архонов, тогда как для протонных лерцолитов эти значения составляют 4-7 мас.% СаО и 2-6 мас.% Cr₂O₃. Тектоновые (фанерозойские) лерцолиты содержат 4,5-6 мас.% СаО и 1-2,5 мас.% Cr₂O₃.

Средние значения содержания Zr и Y, отношения Zr/Y и Y/Ga, а также количество TiO₂ в составе граната из лерцолитов от архона к протону и тектону уменьшаются, что связано с увеличением роли клинопироксена и граната в составе этих пород. Характерны следующие содержания этих элементов: для граната из архонов (г/т) – Zr 55-26, Y 17-9, TiO₂ 4000-825, Zr/Y 200-49, Y/Ga 2,4-1; из протонов – Zr 43-12, Y 24-8, TiO₂ 3080-850, Zr/Y 159-31, Y/Ga 3,2-1,2; из тектонов – Zr 37-9, Y 44-21, TiO₂ 2200-640, Zr/Y 42-10, Y/Ga 4,1-11,0.

Геохимическая характеристика образцов граната, отобранных из кимберлитов отдельных областей УЩ, позволяющая произвести их блокировку, приведена в табл. 1.

Приазовье. Гранаты из кимберлитов Восточного Приазовья имеют средние содержания Y – 5-20г/т и Zr – 10-80г/т. Это свидетельствует о протекавших в литосфере мантии достаточно интенсивных низкотемпературных процессах инфильтрационного метасоматоза флогопитового типа и высокотемпературного метасоматоза, приводящего к плавлению исходных образований и значительному обогащению их целым комплексом элементов. Содержания Zr до 30 г/т характерны для граната из деплетированной мантии. Более высокие содержания – 40г/т и более – фиксируют наличие наложенных постмагматических метасоматических процессов.

Большинство образцов гранатов, отобранных в Приазовье, высокохромистые (около 8 мас.% Cr₂O₃), что характерно для граната из лерцолитов кратонных областей. Такие содержания хрома в гранатах характерны для регионов, геотермы которых составляют 40 и более мВт/м² (табл. 1). Содержание СаО 2,7-7,3 мас.%, невысокое содержание Y (в среднем 13,7 г/т), а также значения отношений Y/Ga и Zr/Y указывают на их архоновый и, частично, протонный возраст.

Восточноприазовский блок УЩ имеет протонный возраст и граничит на западе с архоновым западноприазовским блоком. Поэтому образцы граната могут отражать наличие измененных фрагментов архоновой мантии в зоне контакта этих блоков.

Табл. 1 – Химический состав хромпиропа разных участков Украинского щита

| Элемент | Ni, г/т | Ga, г/т | Y, г/т | Zr, г/т | TiO ₂ , % | Cr ₂ O ₃ , % | CaO, % |
|--|------------|-----------|-----------|------------|----------------------|------------------------------------|-----------|
| Кимберлиты Приазовья | | | | | | | |
| Среднее (90 проб) | 51,1 | 5,1 | 13,7 | 67,2 | 0,26 | 5,97 | 4,91 |
| От – до | 21,3-132 | 0,84–9,99 | 1,13-33,1 | 10,6-175 | 0-0,54 | 1,56-8,28 | 2,69-7,24 |
| Кимберлиты Кухотского участка Волынского блока | | | | | | | |
| Среднее (41 проба) | 81,0 | 13,7 | 11,1 | 47,8 | 0,24 | 5,06 | 5,23 |
| От – до | 10,7-188 | 1,99-254 | 0,73-27,8 | 0,1-182 | 0,01-1,3 | 1,51 10,7 | 3,18-8,16 |
| Кухотские меловые (K₁) отложения | | | | | | | |
| Среднее (35 проб) | 26,65 | 6,69 | 20,15 | 28,95 | 0,27 | 2,5 | 4,96 |
| От – до | 12,9-49,9 | 4,0-11,2 | 8,6-29,9 | 5,80-77,70 | 0,07-0,61 | 1,20-4,87 | 4,21-5,74 |
| Кухотские меловые (K₂) отложения | | | | | | | |
| Среднее (33 пробы) | 34,61 | 6,38 | 25,55 | 33,95 | 0,29 | 2,50 | 4,98 |
| От - до | 12,2-123,0 | 3,2-10,3 | 3,5-39,3 | 5,5-128,0 | 0,04-0,57 | 1,29-6,21 | 4,11-5,81 |
| Белокоровичские аллювиальные (Q₄) отложения Волынского блока | | | | | | | |
| Среднее (30 проб) | 25,6 | 6,58 | 25,3 | 32,1 | 0,32 | 2,12 | 4,88 |
| От – до | 10,8-58,0 | 4,2-10,5 | 6,7-40,3 | 6,9-51,0 | 0,06-0,56 | 1,06-6,72 | 4,06-6,07 |

| Элемент | Ni, г/т | Ga, г/т | Y, г/т | Zr, г/т | TiO ₂ , % | Cr ₂ O ₃ , % | CaO, % |
|---|------------|------------|------------|------------|----------------------|------------------------------------|-----------|
| Мiocеновые отложения (N₁) Шепетовского участка | | | | | | | |
| Среднее (47 проб) | 28,16 | 6,9 | 27,57 | 31,59 | 0,28 | 2,04 | 4,85 |
| От – до | 11,4-57,0 | 5,0-11,0 | 10,6-126,0 | 12,5-50,8 | 0,12-0,47 | 1,43-4,34 | 4,03-6,01 |
| Аллювиальные отложения (N₁) р. Случь | | | | | | | |
| Среднее (22 пробы) | 32,29 | 6,74 | 19,05 | 25,1 | 0,26 | 2,5 | 5,08 |
| От – до | 18,1-49,5 | 3,6-10,2 | 4,8-28,3 | 8,9-40,0 | 0,05-0,54 | 1,41-5,92 | 4,40-6,09 |
| Аллювиальные отложения (N₁) р. Збруч | | | | | | | |
| Среднее (23 пробы) | 35,03 | 6,88 | 20,4 | 25,59 | 0,26 | 2,09 | 4,7 |
| От – до | 18,0-61,6 | 4,5-11,2 | 9,60-30,9 | 5,4-49,8 | 0,16-0,46 | 1,21-3,27 | 4,26-5,54 |
| Аллювиальные отложения (N₁) р. Южный Буг | | | | | | | |
| Среднее (53 пробы) | 41,96 | 13,28 | 19,5 | 31,8 | 0,3 | 2,7 | 5,14 |
| От – до | 10,7-123,0 | 2,31-109,0 | 0,75-54,0 | 0,1-161,0 | 0,05-1,3 | 1,23-11,5 | 2,14-8,16 |
| Аллювиальные отложения (Q₄) Подольско-Белоцерковского блока (р. Днестр) | | | | | | | |
| Среднее (38 проб) | 38,0 | 7,84 | 24,45 | 24,51 | 0,23 | 2,04 | 4,94 |
| От – до | 16,5-65,0 | 3,42-11,1 | 12,4-46,8 | 1,52-69,8 | 0,06-0,48 | 1,00-4,90 | 4,39-6,19 |
| Аллювиальные отложения (Q₄) верховья р. Днестр, Карпаты | | | | | | | |
| Среднее (35 проб) | 26,35 | 5,66 | 23,84 | 35,11 | 0,23 | 2,62 | 5,11 |
| От – до | 11,1-60,20 | 3,10-8,60 | 9,20-45,60 | 5,00-48,90 | 0,06-0,47 | 1,09-6,34 | 4,05-6,27 |
| Аллювиальные отложения (Q₄) верховья р. Серет | | | | | | | |
| Среднее (30 проб) | 26,70 | 6,69 | 26,83 | 32,08 | 0,27 | 2,17 | 4,95 |
| От – до | 9,90-44,0 | 3,40-12,8 | 11,1-44,3 | 10,-48,5 | 0,11-0,45 | 1,3-4,46 | 4,02-6,28 |
| Аллювиальные отложения (Q₄) Кировоградского участка (р. Саврань) | | | | | | | |
| Среднее (20 проб) | 36,59 | 6,45 | 26,88 | 35,84 | 0,199 | 2,04 | 4,99 |
| От – до | 20,6-61,3 | 2,12-9,79 | 15,1-39,4 | 7,39-199,0 | 0,07-0,40 | 1,18-4,76 | 4,41-6,53 |
| Аллювиальные отложения (Q₄) Овручского авлакогена (р. Уборт) | | | | | | | |
| Среднее (37 проб) | 38,85 | 6,07 | 21,72 | 34,95 | 0,20 | 3,21 | 5,24 |
| От – до | 13,0-67,6 | 3,02-8,85 | 2,92-88,4 | 2,5-134,0 | 0,03-0,41 | 1,23-6,65 | 4,44-7,10 |

Волынско-Кухотская область. Гранаты из кимберлитов Волынско-Кухотской площади (41 проба) по содержанию CaO (около 5,2 мас.%), Cr₂O₃ (около 5 мас.%), TiO₂ (около 0,24 мас.%), Ga (в среднем 13,7 г/т), Y (в среднем 11,1 г/т), а также по отношению Y/Ga относятся к хромпиروпам, образовавшимся в архейской мантии, хотя образцы были отобраны в пределах рифейского Волынско-Кухотского авлакогена, испытавшего в среднем протерозое процессы тектоно-магматической активизации, т.е. имеющего субконтинентальную литосферную мантию (СКЛМ) протонового типа.

Гранаты из перекрывающих меловых отложений (68 проб), обладая рядом свойств, характерных для мантии протонового типа, демонстрирует вместе с тем эволюцию от протоновой (K₁) к тектоновой (K₂) мантии (более высокое содержание в его составе Y и более высокое значение отношения Y/Ga) (табл. 1). Полученные данные свидетельствуют о том, что кимберлиты старше авлакогена, не имеющего мантии архонового типа, или возраст их неясный. Неадекватность датировки не позволяет однозначно говорить о наличии в этом регионе архоновой СКЛМ и делать надежные выводы о перспективах алмазности кимберлитов [1].

Белокоровичский участок. Гранаты из аллювиальных отложений четвертичного возраста низкохромистые (содержание Cr_2O_3 до 7 мас.%). Среднее содержание Zr (32,1 г/т), высокое содержание Y (до 10 г/т) и Ga (до 6,6 г/т) типичны для лерцолитовых гранатов из обогащенной мантии (табл. 1). Значения отношений Y/Ga и Zr/Y характерны для тектонового и, частично, протонного полей.

Шепетовский участок. Гранаты низкохромистые, лерцолитового состава, с содержанием Cr_2O_3 около 2 мас.% (табл. 1). Высокие значения содержания Y (в среднем 27,6 г/т) не зависят от значений содержания Ga (5-11 г/т), что типично для граната из обогащенных лерцолитов. Значения содержания Zr, Y, Ga характерны для граната, образовавшегося в верхней части протонного поля и, в основном – тектонового поля [2].

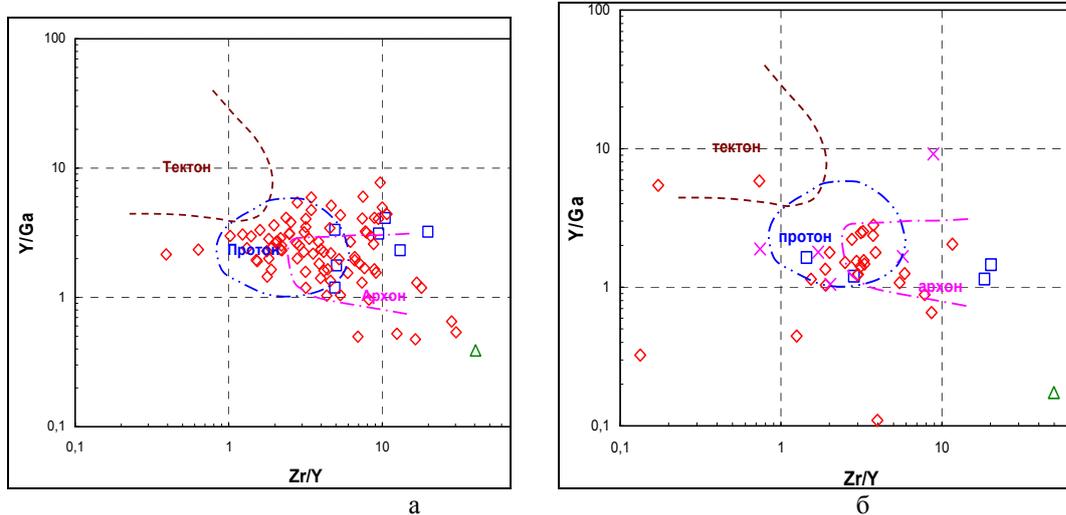


Рис. 1. Значения отношений Y/Ga и Zr/Y в составе гранатов из ультрабазитов Южного Приазовья (рис. 1а) и кимберлитов Вольнь-Кухотского участка (рис. 1б).

Разновидности горных пород по содержанию Ca, Cr:

Δ – субкальциевый гарцбургит; □ – Ca гарцбургит; ◇ – лерцолит; х – верлит.

Подольско-Белоцерковский блок. Изучен химический состав гранатов из аллювиальных отложений миоценового возраста (N₁) р. Случь (22 пробы), р. Збруч (23 пробы), р. Южный Буг (53 пробы), а также четвертичных аллювиальных отложений р. Серет (30 проб), среднего течения р. Днестр (38 проб), верховьев р. Днестр (Карпаты, 35 проб) (табл. 1).

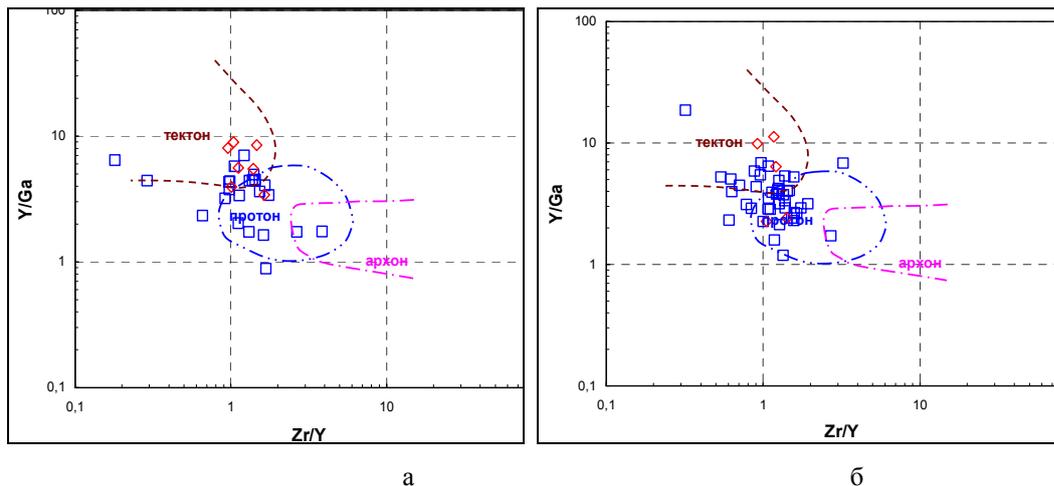


Рис. 2. Значения отношений Y/Ga и Zr/Y в составе граната из Белокоровичских аллювиальных отложений (рис. 2а) и из граната Шепетовских миоценовых отложений (рис. 2б).

Разновидности горных пород по содержанию Ca, Cr:

□ – Ca гарцбургит; ◇ – лерцолит.

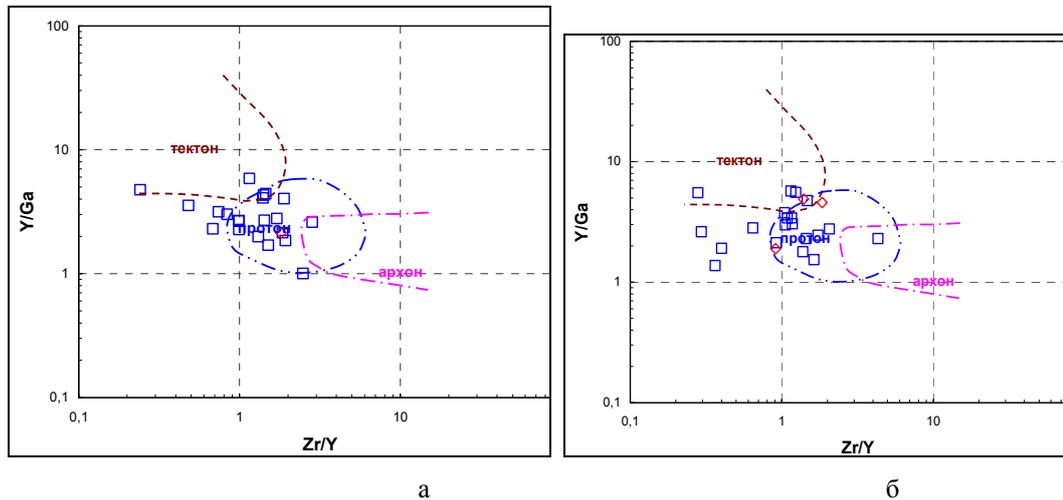


Рис. 3. Значения отношений Y/Ga и Zr/Y в составе граната из аллювиальных отложений рек Случь (рис. 3а) и Збруч (рис. 3б).

Разновидности горных пород по содержанию Ca, Cr:

□ – Ca гарцбургит; ◇ – лерцолит.

Для этого блока характерен протонный тип мантии, что подтверждается умеренными значениями отношений Y/Ga и Zr/Y хромпиروпа и средним, а также низким содержанием Y. Эти данные соотносятся с общегеологическими данными, фиксирующими широкое проявление магматизма в среднем протерозое (1,7-2,2 млрд. лет). Это «протонное ядро» на юго-западе, севере и западе ограничено полями распространения граната с набором элементов, характерных для типичных тектонов [3, 4].

Кировоградский участок. Образцы гранатов из аллювиальных отложений р. Саврань (20 проб), содержат Cr₂O₃ (1,18-4,76 мас.%), CaO (около 5 мас.%), Y (15-39 г/т), Zr (около 35 г/т), а также характеризуются значениями отношений Y/Ga и Zr/Y, позволяющими определить их протонный и, в большей части, тектоновый возраст.

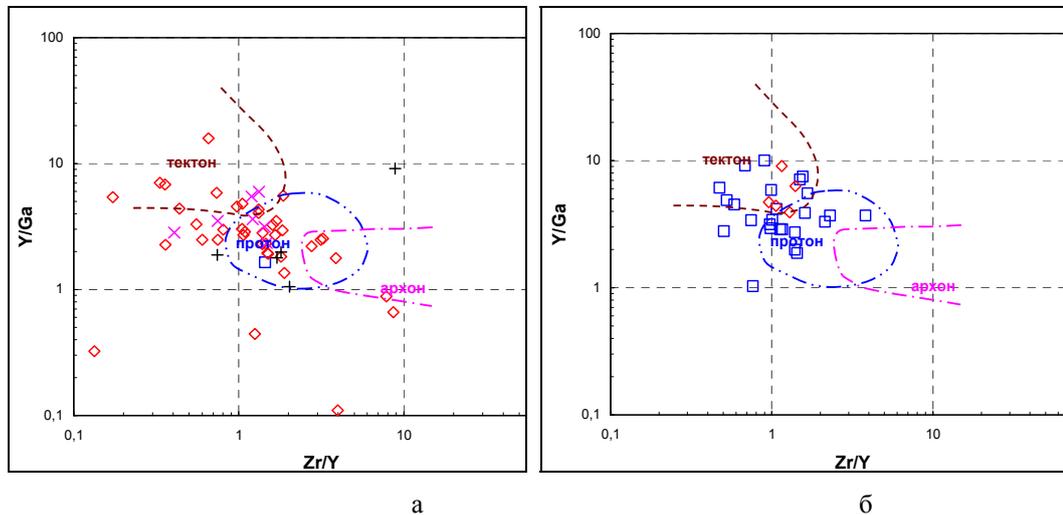


Рис. 4. Значения отношений Y/Ga и Zr/Y в составе граната из миоценовых отложений р. Южный Буг (рис. 4а) и из вехнетчетвертичных аллювиальных отложений р. Серет (рис. 4б).

Разновидности горных пород по содержанию Ca, Cr:

△ – субкальциевый гарцбургит; □ – Ca гарцбургит; ◇ – лерцолит; × – верлит.

Овручский авлакоген. Хромпироп этого региона относится к нескольким геохимическим разновидностям. Образец, отобранный из рифейских отложений в районе р. Уборт, очевидно представляет более древний источник и отличается от белокоровичских гранатов высоким содержанием Cr₂O₃ (3 мас.% против 2,1 мас.%), более низким содержанием Y (21 против 27 г/т) и более высокими значениями отношения Zr/Y (2,3 против 1,3) (табл. 1). Это позволяет относить

пиропы как к образовавшимся в мантии протонового типа, гранаты же Белокоровичского участка – типично тектонового происхождения. Это различие может отражать прогрессивную модификацию земной коры в краевых частях УЩ на границе с Припятско-Днепровско-Донецким авлакогеном, сформированным в девонское время. Нельзя также исключить того, что гранат этих двух областей представляет разные исходные источники.

Таким образом, низкие значения содержания Y (13-15 г/т), отношения Y/Ga (2,5-2,8) и высокие значения отношения Zr/Y (5,9-11,7), установленные для пиропов из кимберлитов Волыни и Приазовья, типичны для гранатов, образовавшегося в архонах. Это согласуется с присутствием в их составе концентратов субкальциевых гранатов. Восточно-Приазовский участок отличается высокой степенью преобразования литосферной мантии архейского возраста, возможно содержащей внедрения протонового возраста, испытавшей в это время какие-либо тектоно-термальные события. Все это указывает на возможную алмазность этих кимберлитов.

Умеренные значения содержания Y (20-25 г/т), типичные для гранатов, образованных в мантии протерозойского возраста, установлены в образцах из осадочных отложений Волыни, вендских отложениях Белокоровичской площади и в пробах из делювиальных отложений Подольского блока. Гранаты других участков содержат Y в пределах 24-27 г/т, что типично для молодого типа мантии. Протерозойская литосферная мантия залегает под южной частью Подольско-Белоцерковского пояса. Кора отделяется со всех сторон более молодой и, значительно более обогащенной целым рядом элементов литосферной мантией, которая, вероятно, преобразовывалась в течение рифейского вулканизма, девонского рифтогенеза и формирования Карпат [2].

Наиболее высокое содержание Cr_2O_3 установлено для гранатов из Приазовских и Волыньских кимберлитов (5,7-5,8 мас.%) [1]. Умеренные значения содержания Cr_2O_3 (2,5-3 мас.%) определены для гранатов из аллювиальных отложений Волыни, вендских отложений Белокоровичской площади, гранатов Карпатского региона и двух образцов и с учетом полученных данных по содержанию основных оксидных компонентов в пределах Украинского щита гранатов юго-западной части Подольского блока [1,6]. Для других образцов хромпиропов характерны очень низкие значения содержания Cr_2O_3 (2-2,2 мас.%), типичные для тектонового типа мантии. и с учетом полученных данных по содержанию основных оксидных компонентов в пределах Украинского щита

В результате установленного содержания редких и редкоземельных элементов, а также, основных оксидных компонентов в гранатах различных областей УЩ и сопоставив их с аналогичными данными по некоторым алмазным кимберлитам мира можно сделать следующий вывод. Наиболее перспективными для поисков алмазносных кимберлитовых и лампроитовых тел могут являться Приазовский (особенно западная его часть) и Северо-Западный (Волыньский) мегаблоки, поскольку выявленные на их территории хромпиропы наиболее сходны с аналогичными гранатами из алмазносных кимберлитов Якутии, ЮАР и других стран.

Библиографический список

1. Панов Ю.Б. Возраст и состав литосферной мантии Волыньского блока Украинского щита и перспективы его алмазности / Ю.Б. Панов, Б.С. Панов, В.Л. Гриффин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна». – 2008. – Вип. 8(136). – С. 165-170.
2. Панов Ю.Б. Состав литосферной мантии Шепетовской площади Украинского щита и перспективы ее алмазности / Ю.Б. Панов, Ю.А. Проскурня, В.Л. Гриффин // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2010. – №34, Т.2 – С. 5-11.
3. Панов Ю.Б. Возраст и состав литосферной мантии Днестровско-Бугского мегаблока (р.Случь) Украинского щита и перспективы его алмазности / Ю.Б. Панов, Ю.А. Проскурня, В.Л. Гриффин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна». – 2011. – вип.15 (192). – С. 96-103.
4. Панов Ю.Б. Возраст и состав литосферной мантии Карпатского региона (верховья р. Днестр) и перспективы его алмазности / Ю.Б. Панов, Ю.А. Проскурня, В.Л. Гриффин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Гірничо-геологічна». – 2010. – вип. 11 (161). – С. 160–168.
5. Cr- pyrope garnets in lithospheric mantle / W. L. Griffin, N. I. Fisher, J. Friedman at al. - 1997. - P. 1-17.

6. Griffin W.L. The composition and origin of subcontinental lithospheric mantle. In: Y.Fei, C.M. Bertka and B.O. Mysen. *Mantle Petrology: Field observations and high-pressure experimentation: A tribute to Francis R. (Joe) Boyd*, Geochemical Society Special Publication #6 / W.L. Griffin, S.Y. O'Reilly, and C.G. Ryan. – Houston: The Geochemical Society, 1999. - PP. 13-45.
7. Griffin W.L. Trace elements in indicator minerals: Area selection and target evaluation in diamond exploration / W.L. Griffin, C.G. Ryan // *J. Geochem. Explor.* – 1995. - V.53. - P. 311-337.

Надійшла до редакції 10.03.2013

Ю.Б. Панов¹, Ю.А. Проскурня¹, В.Л. Гриффин²

¹ ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

² CSIRO, Сідней, Австралія

Оцінка перспектив потенційної алмазоносності геоблоків Українського щита в залежності від часу консолідації підстилаючої субконтинентальної літосферної мантії

На підставі вивчення вмісту головних оксидних компонентів, а також (вперше для України) рідкісних і рідкісноземельних елементів в хромпіропах з корінних кімберлітових трубок та даек Східного Приазов'я, а також третинних та четвертинних відкладень Волині, Придністров'я, Придніпров'я, Побужжя та інших районів УЩ, досліджені їхні типохімічні особливості. На підставі цього встановлено палеогеотермальні умови, що існували в літосферній мантії та час її консолідації, що є одним з найважливіших критеріїв при оцінці перспектив алмазоносних кімберлітових тіл. Проведено їх розподіл на архони, протони і тектони в залежності від віку останньої тектоно-магматичної події. Зіставлення отриманих даних з подібними відомостями по деяким кімберлітовим тілам світу, дозволило провести оцінку перспектив промислової алмазоносності вивчених геоблоків УЩ.

Ключові слова: літосферна мантія, Український щит, кімберліти, алмазоносність.

Yu.B. Panov¹, Yu.A. Proskurnia¹, W.L. Griffin²

¹ Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

² CSIRO, Sydney, Australia

Estimation of prospects of potential diamond area of Ukrainian shield depending on the time of consolidation of subcontinental sial mantle

On the basis of the study of the content of main oxide components, and also (first for Ukraine) of rare and rare-earth elements in chrompyropes from kimberlite tubes and dikes of East Priazov, Volyn and other areas of Ukrainian shield we considered their chemical features. We described paleogeothermal conditions in subcontinental sial mantle of Ukrainian shield and the time of its consolidation which is one of major criteria in the estimation of diamond-bearing kimberlite bodies.

Keywords: sial mantle, Ukrainian shield, kimberlite bodies.