
ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

УДК 552.323.5

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФАНЕРОЗОЙСКИХ БАЗИТОВ ОЛЕНЕКСКОГО ПОДНЯТИЯ (ДОЛИНА Р. КУОЙКА)

А.Е. Васильева^{1,2}, А.Г. Копылова¹

¹Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения
Российской Академии наук, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 39

²Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, 677980, г. Якутск,
ул. Белинского, 58

Аннотация. В пределах Оленекского поднятия пространственно совмещены производные базитового магматизма, проявившегося в среднепалеозойский и верхнепалеозойский-нижнемезозойский этапы тектономагматической активизации. Выполнено комплексное исследование разновозрастных базитов на основе анализа петрохимических и геохимических данных. Установлено, что девонские рифтогенные базиты формировались из гранатсодержащего источника, обогащенного компонентом OIB, а магматиты трапповой формации с уровня соответствующего устойчивости шпинели, близкого к составу EMORB. Среди девонских базитов выделена группа высокотитанистых долеритов с отличающимся от типичных базитов этого возраста вещественным составом.

Ключевые слова: Сибирская платформа, Оленекское поднятие, девонский и пермо-триасовый базитовый магматизм, многокомпонентная геохимия, мантийные источники.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PHANEROZOIC BASITES OF THE OLENEK UPLIFT (KUOYKA R. VALLEY)

A.E. Vasil'eva^{1,2}, A.G. Kopylova¹

¹Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of
Sciences,
677980, Yakutsk, Lenina, 39

²M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, 677980, Yakutsk, Belinsky, 58

Abstract. The Olenek uplift is characterized by close spatial association of the derivatives of basic magmatism which manifested itself in the Middle Paleozoic and Upper Paleozoic-Lower Mesozoic stages of tectonomagmatic activation. Based on petrochemical and geochemical data, comprehensive studies of different-aged basites were made. It is established that Devonian rift-related basites were derived from a garnet-bearing source rich in OIB component while magmatites of the trap formation were formed from a spinel-bearing source compositionally close to EMORB. The Devonian basites include a group of high-Ti dolerites with a different composition from typical basites of that age.

Key words: Siberian platform, Olenek uplift, Devonian and Permian-Triassic basic magmatism, multicomponent geochemistry, mantle source.

Интерес к базитам р. Куойки (юго-западный борт Оленекского поднятия) обусловлен достаточно редким сочетанием двух разновозрастных (девонских и перм-триасовых) групп магматитов основного состава [3] (рис. 1). На этой же территории расположены поля кимберлитов нижнекарбонового и юрского возрастов. Становление многочисленных базитовых образований в районе контролировалось Куойкско-Эбеляхской системой разломов, среди которых доминирует Куойкский глубинный разлом, протянувшийся в северо-западном направлении на расстояние 400 км от среднего течения р. Джарджан до верховьев р. Удза [1]. В этом сообщении на основе данных многокомпонентного (ISP-MS) и спектрального анализов приводится сравнительная характеристика геохимических особенностей разновозрастных фанерозойских базитов основного состава.

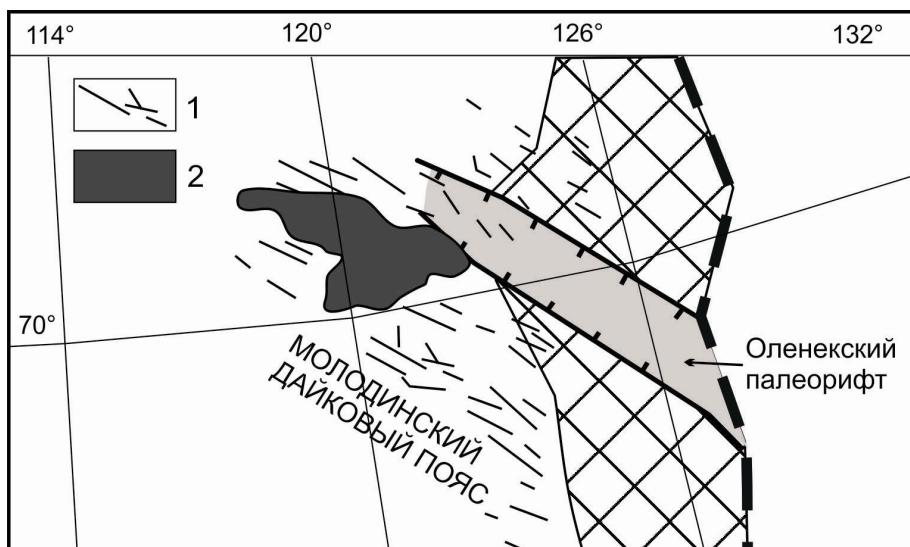


Рис. 1. Схема расположения девонских и перм-триасовых базитов в районе Оленекского поднятия: 1 – среднепалеозойские дайки; 2 – перм-триасовые траппы

В среднепалеозойское время магматическая активизация связана с формированием Оленекского палеорифта, в центриклинальном замыкании которого формировалась группа даек северо-западного простирания Молодинского дайкового пояса. Мощность даек от 25 до 50 м и протяженность до первых километров. Сложены долериты плагиоклазом (An_{56-46}), оливином (Fa_{36-50}), умеренножелезистым клинопироксеном (Fs_{24}), титаномагнетитом и ильменитом (до 6-8%), в мезостазице слабо раскристаллизованное стекло с игольчатым апатитом. Породы часто имеют миндалекаменный облик. Состав пород по содержанию кремнезёма варьируют в диапазоне 46-49,5 (мас. %) SiO_2 и по щелочности соответствует калиево-натриевой серии. На классификационной диаграмме $SiO_2 - (NaO_2 + K_2O)$ среднепалеозойские магматиты большей своей частью располагаются в поле субщелочных базитов (рис. 2).

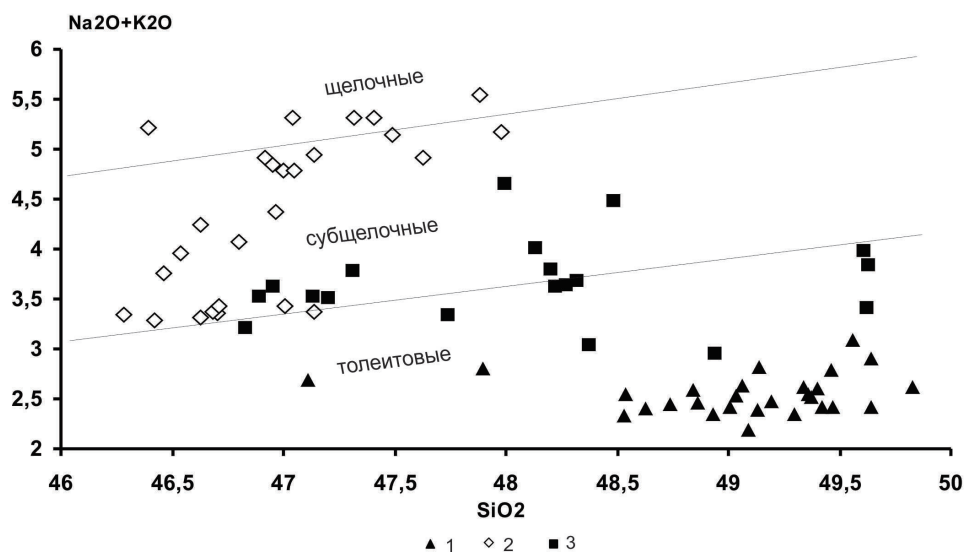


Рис. 2. Классификационная диаграмма составов фанерозойских базитов юго-западной части Оленекского поднятия. Условные обозначения: 1 – траппы; среднепалеозойские базиты: 2 – умеренно-Ti, 3 – высоко-Ti

По содержанию титана дайки делятся на умеренно-титанистую (TiO_2 от 2,4 до 3,1 %) и высоко-титанистую (TiO_2 от 3,2 до 5,1 %) группы (таблица). Последние отличаются также более высоким содержанием P_2O_5 , суммарного железа и повышенной степенью его окисленности, пониженным MgO , Al_2O_3 (рис. 3). Высоко-Ti базиты сформированы более дифференцированным расплавом. Об этом можно судить по низкому значению $Mg\# = 32-34$ и более высокому содержанию практически всех (за исключением Ba и Sr) несовместимых элементов. Установлено, что высокотитанистые базиты приурочены исключительно к кимберлитовым полям и этот признак был предложен ранее [2] как один из поисковых критериев на кимберлиты.

Таблица 1

**Состав представительных проб фанерозойских базитов юго-западной части
Оленекского поднятия (мас. %, г/т)**

| 1 | Траппы | | | Среднепалеозойские базиты | | | | | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 | Умеренно-Ti | | | | Высоко-Ti | | |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| SiO ₂ | 48,71 | 49,09 | 48,86 | 46,04 | 47,83 | 47,41 | 47,21 | 47,45 | 48,05 | 49,62 |
| TiO ₂ | 1,31 | 1,37 | 1,24 | 2,75 | 3,33 | 2,89 | 2,61 | 4,58 | 4,53 | 4,11 |
| Al ₂ O ₃ | 14,69 | 15,11 | 15,37 | 14,16 | 13,09 | 15,01 | 14,78 | 12,27 | 11,98 | 11,34 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,21 | 3,99 | 4,96 | 4,53 | 5,39 | 5,94 | 5,20 | 4,37 | 4,10 | 6,62 |
| FeO | 9,44 | 7,9 | 6,86 | 8,82 | 8,45 | 6,37 | 7,10 | 11,90 | 11,83 | 10,02 |
| MnO | 0,27 | 0,21 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 0,21 | 0,17 | 0,13 |
| MgO | 7,30 | 7,81 | 8,19 | 7,76 | 4,44 | 5,47 | 6,63 | 4,49 | 4,89 | 4,30 |
| CaO | 10,61 | 11,24 | 11,39 | 7,43 | 8,37 | 8,88 | 9,40 | 8,75 | 8,52 | 7,88 |
| Na ₂ O | 3,04 | 2,05 | 2,15 | 3 | 3,31 | 3,74 | 3,26 | 2,41 | 2,02 | 2,55 |
| K ₂ O | 0,54 | 0,13 | 0,3 | 1,67 | 2,74 | 1,58 | 1,43 | 1,25 | 1,05 | 1,20 |
| P ₂ O ₅ | 0,12 | 0,14 | 0,13 | 0,71 | 0,67 | 0,53 | 0,41 | 0,93 | 0,83 | 0,95 |
| H ₂ O+ | 0,53 | 1,9 | 1,2 | 2,75 | 2,31 | 1,96 | 1,62 | 1,71 | 1,86 | 1,18 |
| Сумма | 99,91 | 100,9 | 100,8 | 99,94 | 100,2 | 99,93 | 99,81 | 100,3 | 100,1 | 100,1 |
| Mg# | 51 | 55 | 56 | 52 | 37 | 45 | 50 | 34 | 36 | 32 |
| Rb | 10,20 | 8,19 | 6,98 | 37,8 | 56,42 | 23,5 | 24,1 | 30,38 | 31,39 | 35,58 |
| Ba | 144 | 173 | 159 | 968 | 868 | 714 | 938 | 238 | 257 | 276 |
| Th | 1,28 | 2,35 | 2,23 | 2,26 | 3,40 | 0,83 | 0,77 | 5,54 | 5,62 | 6,13 |
| U | 0,62 | 0,472 | 0,467 | 0,63 | 0,95 | 0,60 | 0,55 | 1,57 | 1,64 | 1,75 |
| Nb | 5,39 | 4,57 | 4,66 | 33,33 | 43,71 | 27,41 | 24,02 | 64,0 | 74,3 | 68,8 |
| Ta | 0,31 | 0,476 | 0,449 | 2,00 | 1,99 | 1,76 | 1,49 | 3,59 | 3,93 | 4,14 |
| Sr | 224 | 257 | 221 | 502 | 456 | 515 | 574 | 341 | 313 | 315 |
| Zr | 97,37 | 70,9 | 66,9 | 215 | 387 | 186 | 176 | 533 | 545 | 566 |
| Hf | 2,39 | 1,93 | 1,76 | 5,80 | 8,39 | 4,27 | 4,20 | 13,17 | 13,99 | 14,93 |
| Y | 26,27 | 22,1 | 21,4 | 27,6 | 45,9 | 30,13 | 27,62 | 62,4 | 64,3 | 66,5 |
| Pb | 3,7 | 3,2 | 11 | 11,63 | 13,27 | 4,34 | 3,85 | 4,7 | 28,0 | 24,9 |
| La | 9,56 | 7,98 | 7,72 | 31,10 | 35,31 | 29,75 | 25,36 | 50,37 | 50,15 | 54,12 |
| Ce | 19,68 | 18,6 | 18,1 | 72,41 | 82,35 | 64,47 | 54,95 | 117,0 | 116,9 | 125,3 |
| Pr | 2,48 | 2,51 | 2,45 | 9,62 | 10,97 | 9,26 | 7,89 | 15,58 | 15,78 | 16,84 |
| Nd | 12,56 | 11,5 | 10,9 | 41,98 | 47,19 | 40,81 | 34,43 | 68,65 | 68,66 | 74,24 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sm | 3,15 | 3,17 | 2,98 | 8,45 | 10,34 | 8,44 | 7,10 | 15,46 | 15,61 | 16,52 |
| Eu | 1,01 | 1,08 | 1,02 | 2,75 | 2,55 | 2,58 | 2,26 | 4,12 | 4,28 | 4,47 |
| Gd | 3,24 | 3,8 | 3,65 | 7,75 | 9,90 | 7,24 | 6,15 | 15,09 | 15,58 | 16,58 |
| Tb | 0,55 | 0,63 | 0,629 | 1,09 | 1,46 | 1,30 | 1,15 | 2,29 | 2,37 | 2,47 |
| Dy | 4,24 | 4,19 | 4,06 | 6,14 | 8,59 | 5,78 | 5,35 | 13,06 | 13,82 | 14,43 |
| Ho | 0,83 | 0,917 | 0,88 | 1,19 | 1,69 | 1,12 | 0,97 | 2,60 | 2,76 | 2,88 |
| Er | 2,17 | 2,56 | 2,46 | 3,20 | 4,34 | 2,77 | 2,33 | 6,67 | 7,13 | 7,51 |
| Tm | 0,49 | 0,371 | 0,371 | 0,44 | 0,64 | 0,45 | 0,39 | 0,95 | 1,02 | 1,06 |
| Yb | 2,29 | 2,41 | 2,27 | 2,52 | 3,75 | 2,64 | 2,09 | 5,38 | 5,91 | 6,26 |
| Lu | 0,36 | 0,356 | 0,363 | 0,37 | 0,53 | 0,37 | 0,27 | 0,77 | 0,83 | 0,89 |
| Sc | 35,97 | 44 | 42 | 29,75 | 28,62 | 41 | 43 | 26 | 28 | 27 |
| V | 266 | 280 | 266 | 341 | 390 | 305 | 330 | 280 | 368 | 343 |
| Cr | 240 | 212 | 211 | 99,9 | 69,8 | 193 | 224 | 52 | 58 | 67 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Co | 46 | 48 | 51 | 45,19 | 45,92 | 48 | 50 | 34 | 41 | 39 |
| Ni | 131 | 128 | 136 | 133 | 50,10 | 71 | 82 | 48 | 13 | 145 |
| Cu | 128 | 136 | 171 | 105 | 217 | 67 | 71 | 321 | 350 | 337 |
| Zn | 72,8 | 97,7 | 96,8 | 127 | 161 | 176 | 127 | 176 | 179 | 181 |
| Ga | 17,2 | 17,4 | 16,8 | 21,6 | 28,2 | 22,4 | 21,8 | 27,2 | 26,6 | 26,9 |
| Mo | 1,18 | 4,32 | 3,43 | 1,92 | 2,59 | 1,82 | 1,84 | 3,21 | 3,21 | 3,56 |
| Be | 0,87 | 0,88 | 0,88 | 1,49 | 2,17 | 1,05 | 0,88 | 2,87 | 2,50 | 3,03 |
| ∑REE | 63 | 60 | 58 | 189 | 220 | 177 | 151 | 318 | 321 | 344 |
| (La/Yb) _n | 2,79 | 2,38 | 2,44 | 8,86 | 6,77 | 8,10 | 8,70 | 6,71 | 6,09 | 6,20 |
| Eu/Eu* | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,89 | 0,76 | 0,99 | 1,02 | 0,81 | 0,83 | 0,82 |
| Nb/Nb* | 0,56 | 0,38 | 0,41 | 1,44 | 1,44 | 1,99 | 1,97 | 1,39 | 1,60 | 1,37 |
| (La/Nb) _{pm} | 1,84 | 1,81 | 1,72 | 0,97 | 0,84 | 1,13 | 1,10 | 0,82 | 0,70 | 0,82 |
| (Tb/Yb) _{pm} | 1,10 | 1,19 | 1,26 | 1,98 | 1,78 | 2,44 | 2,38 | 1,94 | 1,83 | 1,80 |
| (Sm/Yb) _n | 1,54 | 1,46 | 1,46 | 3,73 | 3,07 | 2,72 | 3,77 | 3,19 | 2,94 | 2,93 |
| Lu/Hf | 0,152 | 0,184 | 0,206 | 0,065 | 0,063 | 0,088 | 0,063 | 0,058 | 0,059 | 0,060 |
| Gd/Yb | 1,41 | 1,58 | 1,61 | 3,08 | 2,64 | 2,74 | 2,94 | 2,80 | 2,64 | 2,65 |

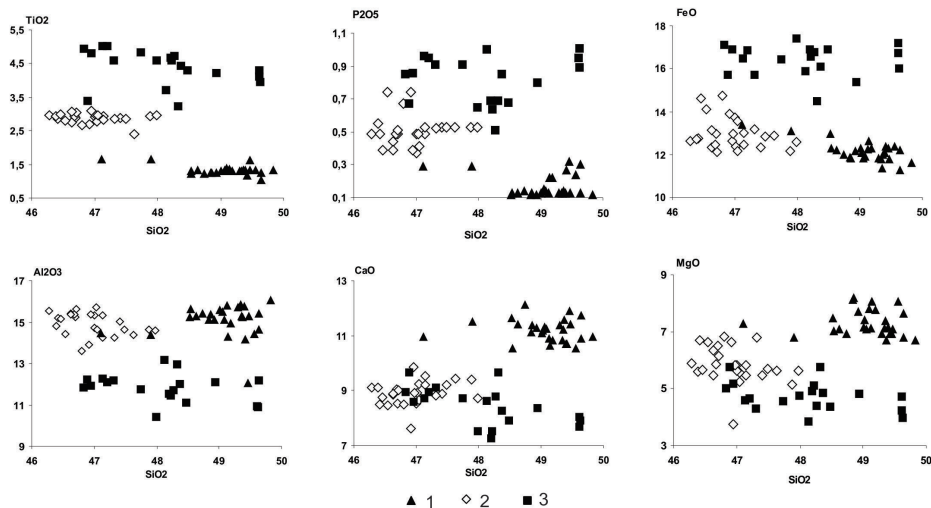


Рис. 3. Соотношение породообразующих окислов в фанерозойских базитах юго-западной части Оленекского поднятия. Условные обозначения см. на рис. 2

Следующий этап магматизма – становление в пермо-триасовое время Оленекской трапповой синеклизы [4]. В это время магматическая деятельность на данной территории была обусловлена внедрением магмы основного состава, сформировавшей протяженную (до 80 км) практически недифференцированную залежь трапповой формации и немногочисленные дайки, играющие роль подводящих каналов. Сложна интрузия оливиновыми долеритами с варьирующим составом основных минералов. Первая докамерная генерация представлена битовнитом (An_{80-75}), хризолитом (Fa_{17-29}) и магнезиальным авгитом (Fs_{15}). Во внутрикамерных условиях кристаллизовался лабрадор (An_{70-65}), гиалосидерит (Fa_{30-41}) и железистый авгит (Fs_{33}). Химический состав траппов характеризуется узким диапазоном породообразующих элементов: содержания SiO_2 (мас. %) находятся в пределах 48-50, TiO_2 – 1,1-1,5, K_2O – 0,3-0,5, P_2O_5 – 0,12-0,30, суммарная железистость 11-13, индекс $Mg\# = 51-56$. На классификационной диаграмме $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$ фигуративные точки их составов образуют компактное поле в области распространения базитов нормальной толеит-базальтовой специализации (рис. 2). По химическому составу породы трапповой формации отличаются от базитов среднего палеозоя более низкими значениями TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , суммарного железа и повышенными содержаниями SiO_2 , MgO , CaO (рис.3).

Еще более значительно разновозрастные базиты различаются по микроэлементному составу (см. таблица, и рис. 4 и 5). По содержанию когерентных элементов (Ni, Cr, Co, Zn, Cu) пермо-триасовые траппы существенно превосходят девонские базиты и обеднены практически всеми некогерентными. На спайдер-диаграммах тренды несовместимых элементов в долеритах трапповой формации имеют субпараллельный характер.

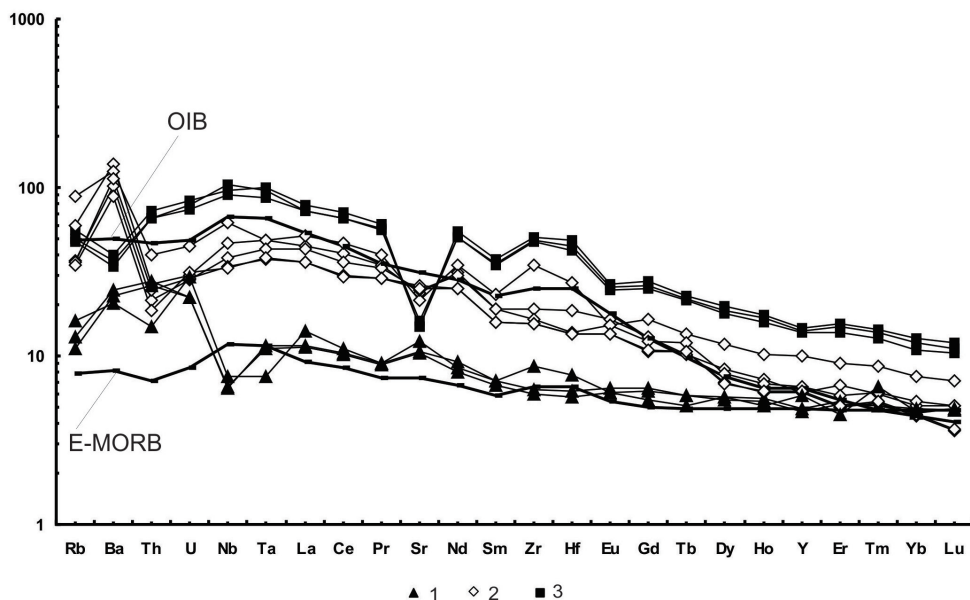


Рис. 4. Распределение нормированных по примитивной мантии [5] редких элементов фанерозойских базитов (долина р. Куойка). Условные обозначения см. на рис. 2

Распределение редкоземельных элементов пологое – значение $(La/Yb)_n$ не превышает 2,40, суммарное значение REE (ppm) лежит в пределах 58-63. По геохимическим параметрам траппы близки к базальтам типа E-MORB, отличаясь от последних повышенным содержанием Ba, Rb, Th и U. Тренды девонских рифтогенных базитов на мультиэлементных диаграммах выделяются более высокими содержаниями практически всех несовместимых элементов, их значения близки базальтам типа OIB. Характер распределения REE в них отличается заметным фракционированием $(La/Yb)_n = 6,7-8,8$, суммарное содержание REE (ppm) (151-344) значительно превосходит его значение в траппах. Но основное отличие связано с наличием Ta-Nb-аномалии, характерной для всех траппов Сибирской платформы. Последнее, наряду со значениями геохимических индикаторов корового вклада $(Nb/Nb^* = 0,38-0,56$; $(La/Nb)_{pm} > 1,2$), возможно свидетельствует о влиянии корового материала на состав пород трапповой формации. В базитах девона положительная Ta-Nb аномалия, отношение $La/Nb < 1,2$ свидетельствуют об отсутствии коровой контаминации расплава, ответственного за формирование среднепалеозойских магматитов. В отличие от траппов для них характерен стронциевый минимум, который более существенно проявлен в высоко-Ti базитах, что свидетельствует о минимальном участии Sr при фракционировании плагиоклаза.

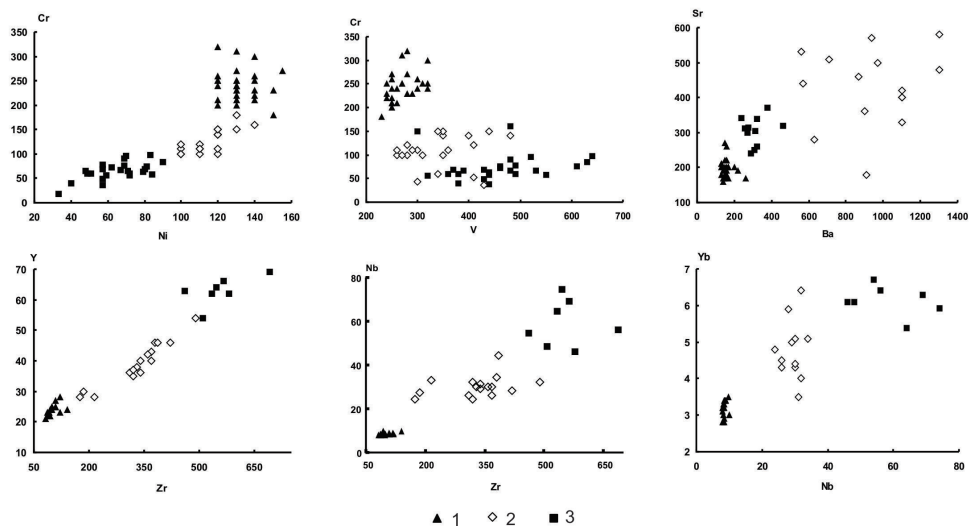


Рис. 5. Соотношение микроэлементов в фанерозойских базитах юго-западной части Оленекского поднятия. Условные обозначения см. на рис. 2

Согласно [6], можно предположить, что мантийный источник для девонских базитов располагается в области устойчивости граната (отношение $Tb/Yb_n = 1,8-2,5$), а для пермо-триасовых траппов он занимает менее глубинное положение, соответствующее устойчивости шпинели ($Tb/Yb_n = 1,2-1,3$). Используя другие геохимические характеристики (Sm/Yb_n , Lu/Hf , Gd/Yb), приведенные в таблице составов, также получаем, что среднепалеозойские рифтогенные базиты формировались из обогащенного компонентом OIB мантийного источника (для гранатового перидотита $Sm/Yb_n=5,14$, $Lu/Hf=0,038$, $Gd/Yb=3,52$), а магматиты трапповой формации – с уровня, соответствующего устойчивости шпинели (для шпинелевого перидотита $Sm/Yb_n=1,21$, $Lu/Hf=0,172$, $Gd/Yb=1,25$). Именно различие в составе магматических расплавов для девонских базитов и пермо-триасовых траппов, обусловленное разной геодинамической обстановкой и, соответственно, разными глубинами заложения магматического источника (рифтогенез и платформенный магматизм трапповых синеклиз) проявилось в специфике геохимических характеристик разновозрастных базитов юго-западного борта Оленекского поднятия (долина р. Куойка).

Литература

1. Горнштейн, Д.К. Разломы восточной части Сибирской платформы / Д.К. Горнштейн, К.Б. Мокшанцев, А.Ф. Петров // Разломная тектоника территории Якутской АССР. – Якутск, 1976. – С. 10-63.
2. Земнухов, А.Л. Базитовый магматизм Ханья-Накынского междуречья / А.Л. Земнухов, А.И. Зайцев, А.Г. Копылова, М.Д. Томшин, Ю.Т. Яныгин // Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж : ВГУ, 2005. – С. 482-494.

3. Олейников, Б.В. Петрология и геохимия фанерозойских базитов Оленекского и Билиро-Уджинского поднятий (северо-восток Сибирской платформы) / Б.В. Олейников, В.Т. Саввинов // *Кимберлитовый и базитовый магматизм района Оленекского поднятия.* – Якутск, 1980. – С. 120-144.

4. Олейников, Б.В. Геодинамические обстановки проявлений базитового магматизма на Сибирской платформе в неогее / Б.В. Олейников, Б.Р. Шпунт, М.Д. Томшин // *Магматические формации в геологической истории и структуре Земли.* – Свердловск, 1989. – С. 86-108.

5. Sun, S.-S., McDonough, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes / Ed. A.D. Saunders, M.J. Norry // *Magmatism in ocean basins.* Geol. Soc. – London : Spec. Publ., 1989. – № 42. – P. 313-345.

6. Wang, K., Plank, T., Walker, J.D., Smith, E.L. A mantle melting profile across the Basin and Range, SW USA // *J. Geophys. Res.*, 2002. – V.107. – № B1. – 10.1029/2001JB000209.

References

1. Gornshteyn, D.K., Mokshantsev, K.B., Petrov, A.F. Razlomy vostochnoy chasti Sibirskoy platformy / D.K. Gornshteyn, K.B. Mokshantsev, A.F. Petrov // *Razlomnaya tektonika territorii Yakutskoy ASSR.* – Yakutsk, 1976. – P. 10-63.

2. Zemnukhov, A.L., Zaytsev, A.I., Kopylova, A.G., Tomshin, M.D., Yanygin, Yu.T. Bazitovyy magmatizm Khann'ya-Nakynskogo mezhdurech'ya / A.L. Zemnukhov, A.I. Zaytsev, A.G. Kopylova, M.D. Tomshin, Yu.T. Yanygin // *Geologiya almazov – nastoyashchee i budushchee.* – Voronezh : VGU, 2005. – P. 482-494.

3. Oleynikov, B.V. Petrologiya i geokhimiya fanerozoyskikh bazitov Olenekskogo i Biliro-Udzhinskogo podnyatiy (severo-vostok Sibirskoy platformy) / B.V. Oleynikov, V.T. Savvinov // *Kimberlitovyy i bazitovyy magmatizm rayona Olenekskogo podnyatiya.* – Yakutsk, 1980. – P. 120-144.

4. Oleynikov, B.V., Shpunt, B.R., Tomshin, M.D. Geodinamicheskie obstanovki proyavleniy bazitovogo magmatizma na Sibirskoy platforme v neogee / B.V. Oleynikov, B.R. Shpunt, M.D. Tomshin // *Magmaticheskie formatsii v geologicheskoy istorii i strukture Zemli.* – Sverdlovsk, 1989. – P. 86-108.

5. Sun, S.-S., McDonough, W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes / Ed. A.D. Saunders, M.J. Norry // *Magmatism in ocean basins.* Geol. Soc. – London : Spec. Publ., 1989. – № 42. – P. 313-345.

6. Wang, K., Plank, T., Walker, J.D., Smith, E.L. A mantle melting profile across the Basin and Range, SW USA // *J. Geophys. Res.*, 2002. – V. 107. – № B1. – 10.1029/2001JB000209.