

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



# Петрология магматических и метаморфических комплексов

## Выпуск 10

Материалы X Всероссийской конференции  
с международным участием

27 ноября – 30 ноября 2018 года



Лучшие решения  
для вашей лаборатории

Томск 2018

# ХАЙРХАНСКИЙ ДУНИТ-ТРОКТОЛИТ-ГАББРОВЫЙ МАССИВ (ОЗЕРНАЯ ЗОНА ЗАПАДНОЙ МОНГОЛИИ) – ПРИМЕР СИНКОЛЛИЗИОННЫХ СРЕДНЕКЕМБРИЙСКИХ ГАББРОИДОВ

А.Э. Изох<sup>1,2,3</sup>, А.В. Вишнеvский<sup>1,2,3</sup>, Р.А. Шелепаев<sup>1,2</sup>, Г.В. Поляков<sup>1</sup>, И.Ф. Гертнер<sup>3</sup>, В.В. Врублевский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия

izokh@igm.nsc.ru

Рассматриваются геологические, минералого-петрохимические и геохронологические данные для Хайрханского дунит-троктолит-габбрового массива в Озерной зоне Западной Монголии. Массив прорывает нижнекембрийские молассовые толщи и прорывается среднекембрийскими диорит-плагиогранитными интрузивами (507 млн лет). U-Pb возраст по цирконам из габброидов этого массива 511 млн лет. Минералого-петрографические и геохимические данные для габброидов этого массива обладают типичными надсубдукционными характеристиками (высокая основность плагиоклазов при повышенной желези-стости оливинов, высокая глиноземистость, низкие содержания титана и щелочей, минимумы по Ta, Nb, Zr и Hf. Для расслоенной серии массива характерно широкое проявление орбикулярных габбро, которые можно рассматривать как габбро-габбровый минглинг. В то же время для расслоенной серии массива характерны высокотемпературные вязко-пластические деформации, которые охватывают весь объем интрузива. Эти наблюдения в совокупности с геологическими и геохронологическими данными, связанных с плавлением надсубдукционной мантии в кембро-ордовикское время, позволяет трактовать Хайрханский массив как пример синколлизии стратифицированных габброидов

## THE DUNIT-TROCTOLITE-GABBRO MASSIF (LAKE ZONE OF THE WESTERN MONGOLIA) - EXAMPLE OF SYNCOLLISION MEDIUM-KEMBRIBIAN GABBROID

A.E. Izokh<sup>1,2,3</sup>, A.V. Vishnevsky<sup>1,2,3</sup>, R.A. Shelepaev<sup>1,2</sup>, G.V.Polyakov<sup>1</sup>, I.F. Gertner<sup>3</sup>, V.V.Vrublevsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geology and Mineralogy. V.S. Sobolev, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup>Tomsky State University, Tomsk, Russia

Geological, mineralogical, petrochemical and geochronological data are considered for the Khairkhan dunite-troctolite-gabbro massif in the Lake zone of Western Mongolia. The massif breaks through the Lower Cambrian molasse stratum and breaks through the Middle Cambrian diorite-plagiogranite intrusions (507 Ma). The U-Pb age in zircons from gabbroids of this array is 511 Ma. Mineralogical and petrographic and geochemical data for gabbroids of this massif have typical suprasubduction characteristics (high An component of plagioclases with increased iron content of olivines, high alumina content, low contents of titanium and alkalis, Ta, Nb, Zr and Hf minima. The layered series is characterized by a wide manifestation of orbicular gabbros, which can be considered as gabbro-gabbro mingling. At the same time, high-temperature viscous-plastic deformations are characteristic of the layered series, which cover the entire volume of the intrusion. These observations, together with geological and geochronological data related to the melting of the supersubduction mantle in the Cambrian-Ordovician time, allow treating the Khairkhan massif as an example of syncollisional stratified gabbroids

### Введение

Для кембрийско-ордовикского этапа ЦАПП характерно широкое развитие гранитоидных батолитов, сшивающих террейны различного типа (Владимиров и др., 1999). Одни исследователи относят эти батолиты к окраинно-континентальным надсубдукционным магматическим поясам, другие рассматривают в составе аккреционно-коллизии орогенных поясов, отражающих рост Сибирского континента в раннем палеозое. Активная роль мантийных процессов в коллизии обстановке обосновывается либо в рамках модели отрыва слэба в период коллизии, что неизбежно приводит к подъему мантийных диапиров под аккреционно-коллизии швами (Хаин и др., 1995), либо в рамках модели воздействия на континентальную литосферу Северо-Азиатского суперплюма (Ярмолюк и др., 2003; Изох и др., 2010). По особенностям петрохимического и геохимического состава ультрабазит-базитовые и базитовые ассоциации этого этапа чрезвычайно разнообразны. Во многих террейнах аккреционно-коллизии ансамбли установлены расслоенные низкотитанистые низкощелочные высокоглиноземистые ультрабазит-базитовые интрузии, которые по геологическим

особенностям и геохимическим характеристикам неотличимы от островодужных высокоглиноземистыми перидотит-габбровыми ассоциаций. Их отнесение к коллизии этапу стало возможным только после геологических и изотопно-геохронологических исследований. К этому типу нами отнесены Запевалихинский, Шильдырхейский и Правотарлашкинский массивы. Этому же этапу отвечает формирование Мажалыкского массива в Юго-Восточной Туве. На этом возрастном рубеже установлены дифференцированные дунит-клинопироксенит-габбровые массивы, которые образовались в результате фракционирования пикритовых или пикро-базальтовых расплавов повышенной калиевой щелочности (Изох и др., 2010).

Озёрная зона Западной Монголии представляет собой венд-кембрийскую островодужную систему, располагающуюся между докембрийским Дзобханским микроконтинентом на востоке, и палеозойскими структурами Монгольского Алтая – на западе. Особое положение среди магматогенных ассоциаций, слагающих Озёрную зону, занимает хиргиснурский перидотит-габбровый комплекс, в составе которого выделяются хиргиснурский, дзобханский,

баянцаганский и тугурикский ареалы распространения массивов перидотит-пироксенит-анортозит-габброноритовой формации (Изох и др., 1990), которая рассматривалась нами как пример островодужных расслоенных габброидов (Изох и др., 1998). Каждый ареал хиргиснурского комплекса объединяет группу сближенных габброидных массивов, обладающих сходным строением, набором пород и их составом, но различающихся размерами и уровнем эрозионного среза. Друг от друга ареалы отстоят на расстоянии, заметно превышающем расстояние между интрузивами в одном ареале. Подобное ареальное размещение центров вулканической деятельности характерно и для современных островодужных систем. В то же время детальные исследования гранитоидного и базитового магматизма этой зоны позволило выделить островодужный и коллизионный этапы (Руднев и др., 2009; 2012). На основании геохронологических исследований Хайрханский массив следует относить к коллизионному этапу, а Баянцаганский массив судя по наиболее молодым цирконам (270 млн лет) вообще соответствует Таримской крупной изверженной провинции.

### Геологическая позиция и строение Хайрханского массива

Хайрханский массив - наиболее крупный габброидный интрузив Западной Монголии. Он располагается в центральной части Озёрной зоны к юго-западу от оз. Дурген-Нур. В гольцовой части хребта Бумбат-Хайрхан, породы массива обнажаются на площади около 70 км<sup>2</sup>. Вмещающими для массива служат осадочные породы раннекембрийской бургасутайской свиты сложенной, преимущественно грубообломочными терригенными осадками с редкими прослоями карбонатов. В северной части массива в обнажениях по р. Уртуин-Гол габбронориты краевой фации прорывают дислоцированные сланцы, песчаники и гравелиты бургасутайской свиты с образованием роговиков. Во внутреннем строении массива выделяются два основных комплекса – расслоенная серия и краевая фация. Породы расслоенной серии слагают центральную часть массива, обнажаясь преимущественно на восточном склоне хребта. Расслоенность имеет северо-западное простирание, согласующееся с видимой в плане длинной осью массива. Серия сложена горизонтами плагидунитов, троктолитов, оливиновых габбро и габброноритов с подчинённым количеством анортозитов. В нижней половине расслоенной серии преобладают мезотроктолиты (до меланотроктолитов), в верхней – оливиновые габбронориты, мезо- и лейкотроктолиты; появляются небольшие горизонты оливиновых габбро, обогащенных титаномagnetитом.

Особый интерес в строении расслоенной серии массива вызывает горизонт такситовых габброидов и связанный с ним горизонт орбикулярных пород. Выходы такситовых пород прослеживаются практически через весь массив вдоль восточного склона хребта, согласно с расслоенностью. Видимая мощность горизонта непостоянна, и колеблется обычно в пределах 30-100 метров. Для такситовых габброидов характерны хаотически расположенные лейкократовые и меланократовые обособления различного размера (от 1-2 до 10-20 см), разрывы, изгибы и складки тонкой расслоенности, т.е. наблюдаются структуры, возникшие, очевидно, в результате вязко – пластических деформаций (рис 1).

Выше по разрезу, непосредственно над такситовыми габброидами, располагается горизонт орбикулярных пород, мощностью до 15 метров. Орбикулы представляют собой сферические зональные образования, размером до 30-40 сантиметров в поперечнике (большая часть до 10-15

сантиметров). В строении большинства из них выделяется две зоны: внешняя, представленная радиально ориентированными кристаллами оливина и(или) клинопироксена, пространство между которыми заполнено мелкими зёрнами плагноклаза, и внутренняя зона анортозитового состава, часто с крупными (до 5-6 мм) кристаллами. Реже встречаются многослойные орбикулы с переменным количеством (до 8-10) слоёв различной мощности и состава. Петрографически, орбикулярные породы представлены такими же троктолитами и оливиновыми габбро, как и в «нормальной» расслоенной серии. Состав минералов в орбикулах, вмещающих их габброидах и троктолитах варьирует незначительно. Орбикулы занимают обычно до 40–50% объёма, однако на отдельных участках, где они тесно соприкасаются и взаимно деформируются, их объёмная доля достигает порядка 80%.

Краевая фация проявлена в Хайрханском массиве достаточно отчетливо. Она фрагментарно распространена по периферии массива, при этом её видимая мощность достигает на некоторых участках более 1 км. Краевая фация сложена преимущественно безоливиновыми габброноритами, сменяющимися к контакту кварцсодержащими амфиболовыми габброноритами.

В породах массива широко проявлены синмагматические пластические и срывные деформации, - как на макро, так и на микроуровне (рис. 1). Они выражаются в смятии элементов расслоенности в небольшие складки различной амплитуды (обычно до первых десятков сантиметров), часто переходящие в такситовые участки и зоны срывов. Наибольшее количество подобных структурных элементов характерно для верхней части расслоенной серии, в том числе и для горизонтов орбикулярных и такситовых габброидов и троктолитов. Эти особенности указывают на достаточно интенсивные тектонические процессы, которые сопровождали не только непосредственное интродирование, но и дальнейшее становление массива.

### Геохронологические данные

Для датирования времени становления Хайрханского массива, из крупной пробы оливинового габбро, отобранного в верхней части расслоенной серии, выше орбикулярного горизонта (обр В113-02), были выделены зёрна циркона. Они представлены бесцветными субмикронными до слабовытянутых кристаллами и их обломками размером 0,1-0,3 мм. В проходящем свете в некоторых зёрнах наблюдаются твёрдофазные включения других минералов. На катодоллюминесцентных снимках большинства цирконов отчётливо видна внутренняя структура, характеризующаяся осцилляционной зональностью, отсутствием древних ядер и поздних кайм (рис 2.). Исследование изотопного состава Pb, U и Th проводилось во ВСЕГЕИ на приборе SHRIMP-II (аналитик ). Всего проделано 10 измерений в 8 зёрнах. Содержания U варьируют от 83 до 1747 ppm, Th –от 26 до 1284 ppm, 232Th/238U соотношения находятся в пределах от 0,13 до 0,76 (в основном около 0,3), что также косвенно указывает на кристаллизацию данных кристаллов циркона из магматического расплава. Изотопные соотношения U и Pb в одном из зёрен (B113\_1) значительно отличаются от остальных результатов и не учитывались при расчёте конкордантного значения возраста, которое составило по 10 точкам 511±12 млн лет. Эти данные не позволяют рассматривать данный массив в составе венд-кембрийской островодужной системы, но хорошо согласуется с габбро-гранитными ассоциациями аккреционно-коллизионного этапа.

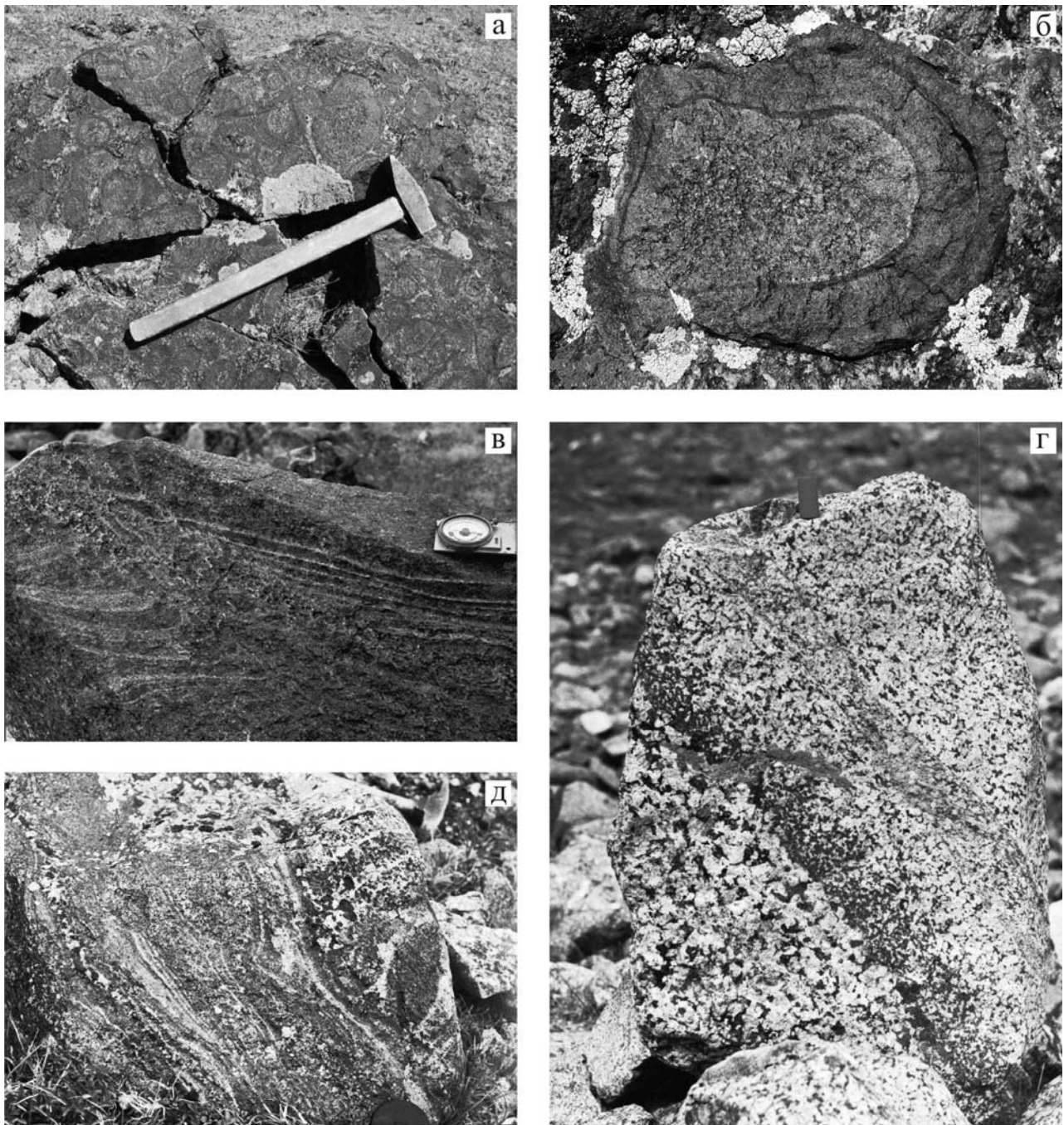


Рис. 1 Орбикулы и структурные деформации в расслоенной серии Хайрханского массива

а – обнажение горизонта орбикулярных пород в центральной части массива; б – одиночная деформированная орбикула с трехзонной оболочкой и отчетливо грубозернистой центральной частью; в – пластические деформации тонкой ритмичной расслоенности в оливиновых габбро; г – крупномасштабная ритмичная расслоенность и зона вязко-пластического срыва, запечатанного познемагматическим амфиболом; д – вязко пластические деформации пород расслоенной серии.

#### Геохимические данные

На TAS-диаграмме, точки составов пород расслоенной серии и краевой фации ложатся в поле ультраосновных и основных пород нормального ряда. Содержание  $\text{SiO}_2$  колеблется от 42,1 до 52,6 мас.%, а сумма  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  не превышает 3,2 мас.%. Содержание щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) в породах расслоенной серии составляет 0,15 - 2,41 мас.%, а в краевой фации оно колеблется от 1,28 до 3,16 мас.%. Следует, однако, отметить, что наблюдаемые вариации содержания

щелочей обусловлены изменением количества  $\text{Na}_2\text{O}$ , содержание же  $\text{K}_2\text{O}$  практически постоянно и составляет в среднем 0,2 мас.%, как для пород расслоенной серии, так и для краевой фации. Породы краевой фации и расслоенной серии значительно разнятся по содержанию  $\text{TiO}_2$ . Для габброидов краевой фации, содержание  $\text{TiO}_2$  варьирует обычно в пределах 0,3 - 1,0 мас.%, (в среднем около 0,63 мас.%), тогда как в породах расслоенной серии количество титана много меньше, и составляет в среднем 0,1 мас.%  $\text{TiO}_2$ .

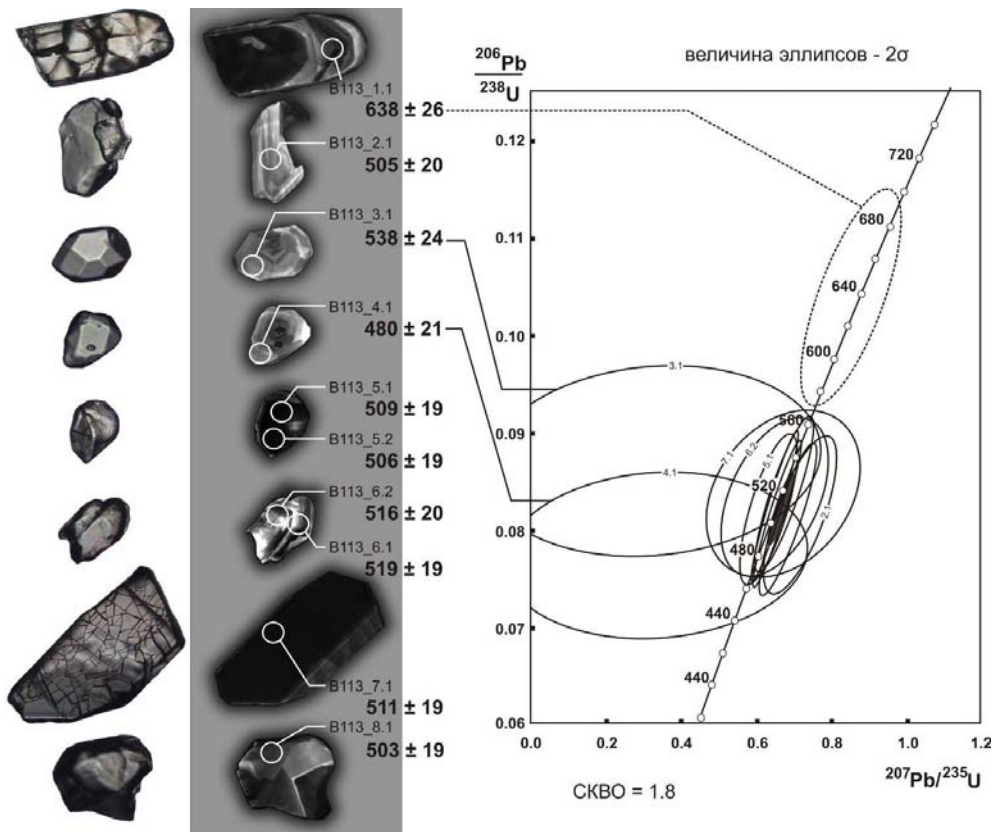


Рис. 2 Результаты исследования U-Pb изотопной системы в единичных зёрнах циркона из оливинового габбро расслоенной серии Хайрханского массива (обр. B113-02)

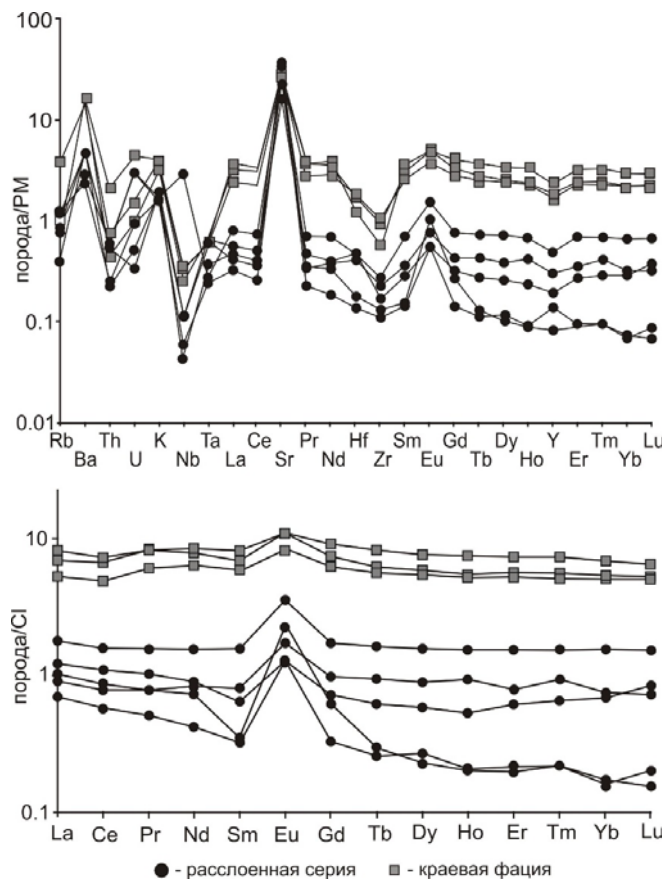


Рис. 3 Нормированные спектры распределения микроэлементов в породах. РЭЭ-спектры нормированы на хондрит CI (Boynnton), мультиэлементные спектры на PM (McDonough)

Содержание  $Al_2O_3$  и  $CaO$  напрямую зависит от количества плагиоклаза в породе, что хорошо заметно на примере в изменении соотношений компонентов в ряду пород: троктолиты - оливиновые габбро — анортозиты. Для анортозитов характерно увеличение содержания  $Al_2O_3$  до 32,9 мас.% и  $CaO$  до 17 мас.%. С увеличением количества фемических минералов в породе, происходит и обеднение кальцием и алюминием – в наиболее меланократовых троктолитах содержание  $Al_2O_3$  падает до 16,2 мас.%, а  $CaO$  до 9 мас.%. Для габброноритов краевой фации характерны в целом более низкие содержания  $Al_2O_3$  и  $CaO$ , причём обеднение алюминием выражено более ярко, по сравнению с кальцием, что вызвано более высокой долей клинопироксена в габброноритах.

Максимальные содержания магния и железа отмечаются для мезократовых троктолитов (до 13,7 и 13,4 мас.%  $Fe_2O_3$  и  $MgO$  соответственно). С уменьшением количества оливина, содержание магния и железа падает, и в лейкотроктолитах составляет 5 и 5,25 мас.%  $Fe_2O_3$  и  $MgO$  соответственно. Габбронориты краевой фации имеют повышенную железистость (в среднем  $64 Fe\# = FeO^* \times 100 / (FeO^* + MgO)$ ), против 51 для габброидов расслоенной серии.

Редкоземельные, нормированные по хондриту CI, спектры пород расслоенной серии имеют слабый отрицательный наклон ( $(La/Yb)_n$  от 1,21 до 5,9), более значимый для лейкократовых разновидностей – образцов анортозита и лейкотроктолита. Породы краевой фации образуют практически горизонтальные спектры с  $(La/Yb)_n$  от 1,05 до 1,52 в области от 5 до 10 хондритовых единиц (рис. ). Европейский максимум более явно выражен в породах расслоенной серии ( $Eu/Eu^*$  1,86-4,8), чем в краевой фации ( $Eu/Eu^*$  1,27-2,12), что говорит о значительной роли фракционирования плагиоклаза при формировании расслоенной серии. Для габбронорита из верхней части расслоенной серии характерны промежуточные значения содержаний, что хорошо видно на редкоземельном спектре (рис 3).

На мультиэлементных спектрах, построенных по содержаниям, нормированным по составу примитивной мантии видно, что распределение элементов в породах расслоенной серии и краевой фации весьма схоже. Отличия заключаются преимущественно в большем уровне концентраций соответствующих компонентов в породах краевой фации. Распределения имеют слабый отрицательный наклон, а в области HREE практически выполаживаются. Наиболее значительными и интересными особенностями распределения микроэлементов являются резкая положительная аномалия по Sr и отчетливое относительное обеднение Th, Nb и Zr при несколько меньшем обеднении U, Ta и Hf, что дает Th-U, Zr-Hf и Ta-Nb минимумы (рис3).

### Выводы

Особенности минералого-петрографического и петрохимического состава, а также геохимические особенности пород расслоенной серии Хайрханского массива являются типичными для расслоенных габброидов характерных для островодужных палеосистем. В то же время геологические данные (прорывание нижнекембрийских моласс), геохроно-

логический возраст габброидов (511 млн лет), наличие синмагматических вязко-пластических деформаций позволяет отнести время формирования массива к аккреционно-коллизийному этапу развития ЦАСП (Руднев и др., 2013). Конвергентность вещественных характеристик пород Хайрханского массива и островодужных габброидов объясняется плавлением одной и той же надсубдукционной мантии, но в различных геодинамических режимах. Этим же можно объяснить и схожесть пермского Баянцаганского расслоенного массива с островодужными габброидами Озерной зоны и с Хайрханским массивом.

### Литература

1. Владимиров А.Г., Гибшер А.С., Изох А.Э., Руднев С.Н. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Центральной Азии: масштабы, источники и геодинамические условия формирования // Докл. АН. 1999. Т. 369. № 6. С. 795–798.
2. Изох А.Э., Вишневский А.В., Поляков Г.В., Калугин В.М., Оюунчимэг Т., Шелепаев Р.А., Егорова В.В. Урэгнурская платиноносная вулканоплутоническая пикрит-базальтовая ассоциация Монгольского Алтая — индикатор кембро-ордовикской крупной изверженной провинции // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (5), с. 665—681.
3. Изох А.Э., Поляков Г.В., Гибшер А.С., Балыкин П.А., Журавлев Д.З., Пархоменко В.А. Высокоглиноземистые расслоенные габброиды Центрально-Азиатского складчатого пояса: геохимические особенности, Sm-Nd изотопный возраст и геодинамические условия формирования // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (11), с. 1565—1577.
4. Изох А.Э., Поляков Г.В., Кривенко А.П., Богнибов В.И., Баярбилэг Л. Габброидные формации Западной Монголии. Новосибирск, Наука, 1990, 269 с.
5. Руднев С.Н., Изох А.Э., Борисенко А.С., Шелепаев Р.А., Орихаши Ю., Лобанов К.В., Вишневский А.В. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Бумбатхирханского ареала Озерной зоны Западной Монголии (геологические, петрохимические и геохронологические данные) // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (5), с. 557—578.
6. Руднев С.Н., Изох А.Э., Ковач В.П., Шелепаев Р.А., Терентьева Л.Б. Возраст, состав, источники и геодинамические условия формирования гранитоидов северной части Озерной зоны Западной Монголии: механизмы роста палеозойской континентальной коры // Петрология, 2009, т. 17, № 5, с. 470—508.
7. Хаин Е.В., Амелин Ю.В., Изох А.Э. Sm-Nd данные о возрасте ультрабазит-базитовых комплексов в зоне субдукции Западной Монголии // ДАН, 1995, т. 341 (6), с. 791—796.
8. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Геодинамика формирования каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса // ДАН, 2003, т. 389, № 3, с. 354—359.