

УДК (552.321.3:552.42:550.422) (571.54/.53)

## ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ПОРОД ФУНДАМЕНТА ГАРГАНСКОЙ ГЛЫБЫ (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)

**И.В. Левицкий<sup>1</sup>, В.И. Левицкий<sup>2</sup>, С.В. Ефремов<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Институт геохимии СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

<sup>3</sup>Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Установлена принадлежность докембрийского фундамента Гарганской глыбы к тоналит-трондьемитовым ассоциациям (ТТА). По петрогеохимическим свойствам они наиболее близки к ТТА комплекса гранито-гнейсов основания Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов, которые по всем параметрам присущи древнейшим (3,2-3,4 млрд лет) образованиям, но по возрасту становления подобны ТТА шарыжалгайской серии.

В гранито-гнейсах Гарганской глыбы на рубеже 2,66 млрд лет проявлена ультраметаморфическая гранитизация, как и во всех раннедокембрийских структурах Присаянского краевого выступа Сибирского кратона. Присутствие подобных гранитоидов в фундаменте Гарганской глыбы свидетельствует о том, что и она в неархейский период являлась частью Сибирского кратона.

Комплекс гранито-гнейсов основания Гарганской глыбы имеет простой состав: тоналиты и трондьемиты, амфиболиты, ультраметаморфические гранитоиды с возрастом 2,71–2,61 млрд лет. Подобные образования такого возраста, состава и объема неизвестны среди пород Присаянского краевого выступа, что позволяет говорить о его самостоятельности и необходимости выделения как нового структурно-вещественного комплекса фундамента Сибирского кратона.

*Библиогр. 15 назв. Ил. 5.*

*Ключевые слова: Гарганская глыба; докембрий; тоналиты; трондьемиты.*

## PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF BASEMENT ROCKS OF THE GARGAN BLOCK (THE EAST SAYAN)

**I.V. Levitskiy, V.I. Levitskiy, S.V. Efremov**

Institute of Geochemistry, SB RAS, 1a, Favorsky St, Irkutsk, 664033, Russia.

Irkutsk state Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

It is found that the Precambrian basement of the Gargan block belongs to tonalite trondhjemite associations (TTA). By petrogeochemical properties they are similar to TTA foundation granite-gneiss complex of Onot and Targazoy greenstone belts that are inherent to the oldest (3.2-3.4 billion. years) formations by all parameters, except the formation age, which makes them similar to the Sharyzhalgai series TTA.

The granite-gneisses of the Gargan blocks at the turn of 2.66 billion years feature ultrametamorphic granite (granitization). This regional process is manifested in all the Early Precambrian structures of the Prisayan marginal block of the Siberian craton. The presence of these granitoids in the Gargan block foundation indicates that it was a part of the Siberian craton in the Neoproterozoic period.

The granite-gneiss complex of the Gargan block foundation is of simple composition – tonalites and trondhjemites, amphibolites, ultrametamorphic granitoids aged of 2,71-2,61 billion years. Similar formations of the same age, composition and volume are not known among the rocks of the Prisayan marginal block, which is indicative of its independence and proves the need for distinguishing a new structural and material complex of the Siberian craton foundation.

---

<sup>1</sup>Левицкий Иван Валерьевич, научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, тел.: 89086465685, (3952) 429935, e-mail: [ilevit@igc.irk.ru](mailto:ilevit@igc.irk.ru)

Levitskiy Ivan, Researcher, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, tel.: 89086465685, (3952) 429935, e-mail: [ilevit@igc.irk.ru](mailto:ilevit@igc.irk.ru)

<sup>2</sup>Левицкий Валерий Иванович, ведущий научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук, e-mail: [vlevit@igc.irk.ru](mailto:vlevit@igc.irk.ru)

Levitskiy Valeriy, Leading Researcher, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, e-mail: [vlevit@igc.irk.ru](mailto:vlevit@igc.irk.ru)

<sup>3</sup>Ефремов Сергей Васильевич, старший научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук, тел.: (3952) 429935, e-mail: [esv@igc.irk.ru](mailto:esv@igc.irk.ru)

Efremov Sergei, Senior Researcher, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, tel.: (3952) 429935, e-mail: [esv@igc.irk.ru](mailto:esv@igc.irk.ru)

15 sources. 5 figures.

Key words: Gargan block; Precambrian period; tonalites; trondhjemites.

**Введение.** В Центрально-Азиатском складчатом поясе (ЦАСП) выделяют крупные блоки ("глыбы", "массивы", "поднятия") докембрийских метаморфических пород [3, 7]. Некоторые из них относят к "кратонным террейнам" и "массивам", проходившим в своем развитии стадию микроконтинента [2, 3, 5, 7]. Последнее обосновывается по двухъярусному строению массивов, включающих докембрийский кристаллический фундамент и осадочный чехол платформенного типа. К таким блокам относят Дзабханский (ДМ) и Тувино-Монгольский (ТММ) массивы. Последний первоначально был выделен А.В. Ильиным [5] как блок докембрийской коры, перекрытой венд-кембрийскими платформенными осадочными породами. Он представлял фундамент массива гетерогенным, включающим раннедокембрийское основание и верхнедокембрийские комплексы в прогибах и чехлах континентальных блоков. Ранее докембрийское основание относили к шарыжалгайской серии Сибирского кратона, на котором залегают венд-кембрийские платформенные [2, 5], а в краевых частях – аллохтонные офиолитовые [3, 7, 13] ассоциации.

Главной целью статьи является изучение пород фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента и их сравнение с породами краевых выступов Сибирской платформы.

Основным объектом исследования являются породы тоналит-трондьемит ассоциации (ТТА), изучение которых позволит получить новую информацию о формировании континентальной коры на ранних стадиях эволюции Земли.

Породы ТТ ассоциаций обычно геохимически специализированы в отношении золота и тяжелых металлов, что определяет их практическую значимость. Дополнительное изучение этих пород будет способствовать выработке

критериев потенциальной рудоносности и рудной продуктивности этих пород, способствуя поиску рудных месторождений золота, меди и других металлов.

**Геолого-петрологическая характеристика пород фундамента Гарганской глыбы.** Фактический материал по фундаменту Гарганской глыбы получен при изучении районов (рис. 1):

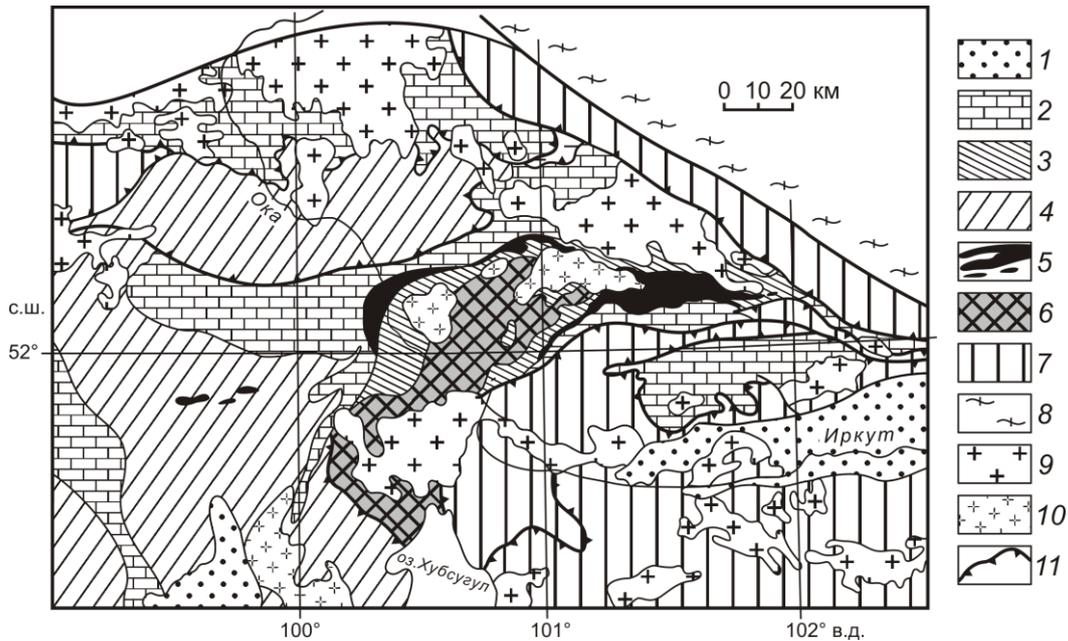
- устья р. Жахой, при ее слиянии с р. Ока и на участках 68–64 км автодороги Монды-Орлик;

- верховьев р. Хойто-Гарган, подножья г. Бурал-Сарьдаг;

- Зунхолбинского золоторудного месторождения (здесь породы сильно преобразованы и большая часть анализов после просмотра шлифов была исключена из построений).

Среди пород глыбы распространены полосчатые и гнейсовидные тоналитовые и трондьемитовые плагиогнейсы с телами амфиболитов. Плагиогнейсы реконструируются как тоналит-трондьемитовые ассоциации (ТТА), которые присущи древнейшим гранит-зеленокаменным областям мира. В ТТА фиксируется проявление ультраметаморфических аллохтонных преобразований (гранитизации) под воздействием внешних мантийных источников, обогащенных Si, K, Ba, Rb, REE, с формированием по ним мигматитов и гранитов, размер тел которых меняется от 1–2 до 10–15 м. Тоналиты, трондьемиты, мигматиты и граниты катаклазированы с образованием полосчатых их разностей. Недиафорированные разновидности встречены в виде маломощных жил (до 1 м) в верховьях р. Хойто-Гарган. В пределах ТТА встречаются пластовой и линзовидной формы тела амфиболитов, подвергшиеся интенсивным преобразованиям.

**История геологического изучения.** Представления об архейском возрасте пород Гарганской глыбы и ее



**Рис. 1. Геологическое строение северо-восточной части Тувино-Монгольского массива и его обрамления [2]:**

- 1 – кайнозойские отложения; 2 – отложения венд-кембрийского чехла; 3–5 – рифейские образования: 3 – отложения рифейского чехла, 4 – осадочные и осадочно-вулканогенные отложения, 5 – офиолиты; 6 – раннекембрийский фундамент (Гарганская глыба); 7 – ордовикское складчатое обрамление; 8 – фундамент Сибирской платформы; 9 – раннепалеозойские гранитоиды; 10 – рифейские гранитоиды; 11 – границы покровов

корреляции с шарьжалгайской серией развивались с середины прошлого века [2, 3, 7, 9]. В обобщающем труде сотрудников ЛАГЕД АН СССР [4] в составе Гарганской глыбы выделены архейские и протерозойские толщи. Архейский комплекс отнесен к низам шарьжалгайской серии и разделен на три свиты (снизу): боргойскую (биотитовые гнейсы и гранитогнейсы), иншутинскую (включающую пласты и линзы амфиболитов) и улзетинскую (близка по составу к нижней свите). Подчеркнем, что выделение каких-либо стратиграфических подразделений в Гарганской глыбе весьма проблематично. Исследователи отмечали доминирование пород плагиогнейсового или плагиогранитного состава, но не отмечали их принадлежность к ТТА [3, 7, 9 и др.]. Большинство плагиогнейсов представлено полосчатыми разностями, которые в 30–40-х гг. были названы плагиоклазовыми ортогнейсами. Анизотропная текстура обусловлена чередованием полос кварцполевошпатового и хлорит-мусковит-эпидотового составов. В.Н. Лодочников

[9] назвал эти породы плерогнейсами ("плеро" – переполненный), поскольку плагиоклаз в них обильно насыщен включениями мусковита, эпидота, апатита. По сути "плерогнейсы" – глубоко диафторированные мигматиты и гранитогнейсы, в свою очередь, развитые по более древнему субстрату. Исследователи отмечали несколько этапов метаморфизма пород Гарганской глыбы. Первичные парагенезисы (гранулитовой фации?) «стерты» интенсивной мигматизацией и последующим регрессивным метаморфизмом в условиях эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Необходимо отметить, что породы плагиогнейсового и плагиогранитного состава редки в шарьжалгайской серии. Кроме того, А.А. Шафеев [3] не обнаружил в ней гранулитовых ассоциаций. Он считал, что глыба представляет купол, сложенный плагиогранитами, гранодиоритами, кварцевыми диоритами, подвергшимися метаморфизму амфиболитовой фации и преобразованиям. П.А. Роцектаев же [3] указывал на присутствие в межкупольных зонах гранат-

двупироксеновых и пироксеновых сланцев.

**Геохронология.** Возраст кайм акцессорного циркона, полученный на SHRIMP II из массивных тоналитов (верховья р. Хойто-Гарган) комплекса гранито-гнейсов (ТГА) основания Гарганской глыбы, –  $2664 \pm 15$  млн лет [13]. Дискордия по всем точкам дала верхнее пересечение  $2667 \pm 39$  млн лет, нижнее –  $746 \pm 130$  млн лет. Возраст  $2664 \pm 15$  млн лет соответствует времени ультраметаморфизма (анатексиса) в условиях амфиболитовой фации, возраст исходных протолитов и метаморфизма гранулитовой фации должен быть древнее [13]. Позже было выполнено исследование цирконов тоналитов двух типов, один из которых имеет типичную магматическую, другой – метаморфическую морфологию [1]. Возраст тоналитов, полученный U-Pb методом по субидиоморфному короткопризматическому циркону вишневого цвета с четко проявленной тонкой магматической зональностью, составляет  $2752 \pm 10$  млн лет, СКВО=0,18 [1]. Возраст кристаллизации метаморфического циркона оценивается ~ 2.6 млрд лет.

**Петрография и геохимия.** Количество ведущих разновидностей пород невелико – плагиогнейсы, амфиболиты, мигматиты, граниты и пегматиты.

*Плагиогнейсы* – мезолитовые и лейкократовые полосчатые и массивные разности. Реконструируются как андезито-базальты, андезиты, тоналиты и трондьемиты. Преобладают метатрондьемитовые, в меньшей степени развиты метатоналитовые плагиогнейсы. Метаандезитовые и метаандезитбазальтовые разности встречаются редко. Для пород характерны низкотемпературные изменения в виде равномерной вкрапленности и (или) полосчатости.

*Мезолитовые плагиогнейсы (апоандезитобазальтовые и апоандезитовые)* – среднезернистые полосчатые с катакластической структурой породы. Состоят (%) из плагиоклаза (45–55), кварца (5–10), биотита (5–15), амфибола (0–8), вторичных – цоизита, клиноцоизита, хлорита, серицита (20–35). В них отмечены (табл. 1, выб. 1) повышенные содержания  $TiO_2$ , железа,  $MnO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Sr$ ,  $Ba$ ,  $Y$ ,  $Cr$ ,  $Ni$ , пониженные –  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Rb$ ,  $Zr$ . Реконструируются как андезито-базальты и андезиты.

Таблица 1

Средний химический (мас. %) и редкоэлементный (г/т) состав пород фундамента Гарганской глыбы

Компоненты	Породы (количество анализов)									
	1 (3)	2 (4)	3 (3)	4 (7)	5 (5)	6	7 (5)	8 (4)	9 (3)	10 (1)
$SiO_2$	58,43	66,65	66,87	70,11	73,79	69,79	49,40	72,97	74,30	72,7
$TiO_2$	0,55	0,40	0,43	0,28	0,10	0,34	0,79	0,08	0,07	0,03
$Al_2O_3$	14,12	16,12	15,89	15,59	14,91	15,56	14,17	15,21	14,18	14,74
$FeO$	5,61	2,33	2,12	1,27	0,50		6,47	0,74	0,51	
$Fe_2O_3$	2,15	1,54	1,49	1,49	0,42	3,12*	3,89	0,43	0,27	0,68*
$MnO$	0,15	0,06	0,07	0,04	0,02	0,05	0,20	0,02	0,03	0,01
$MgO$	4,29	1,56	1,74	0,98	0,45	1,18	7,74	0,32	0,21	0,15
$CaO$	7,05	3,60	3,00	2,31	1,57	3,19	10,77	1,51	1,00	0,56
$Na_2O$	3,42	5,02	4,74	5,58	5,81	4,88	3,18	4,78	4,31	3,50
$K_2O$	1,22	1,36	1,86	1,27	1,32	1,76	0,72	2,94	4,49	7,14
$P_2O_5$	0,09	0,13	0,13	0,10	0,03	0,13	0,29	0,04	0,03	0,02
п.п.п.	2,26	1,10	1,24	1,03	0,84		3,02	0,82	0,42	0,39
Сумма	100,06	100,09	100,05	100,06	100,02		100,2	100,04	100,05	100,04
Li	33	34	53	24	8		14	15	7	5
Rb	46	50	79	46	34	55	14	88	120	128
Cs	3,0	3,3	3,6	1,7	0,5		1,7	0,5	0,5	0,5

Окончание табл. 1

Ba	660	754	1085	652	976	690	232	1735	745	850
Sr	412	483	457	540	404	454	375	389	319	218
B	38	9	4	4	9		14	7	27	3
Be	1,6	1,2	1,8	0,9	1,3		0,8	1,38	1,4	0,3
F	555	513	1025	413	223		907	145	73	75
Mo		2,0	1,4	2,9	2,1		1,1	2,2	4,6	2,3
Sn		1,6	2,5	1,4	1,0		1,5	0,9	1,6	0,72
La		25	29	72	11	32	25	10	13	13
Ce		44	55	79	16	56	54	10	9	23
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nd		15	21	26	5	21,4	28	4	3	5
Yb		0,9	0,9	4,0	0,7	0,55	1,8	2	9	1
Y	15,0	9,1	11,9	2,0	8,0	7,5	25	5	8	2
Zr	154	160	178	184	92	152	26	112	115	40
Zn	113	66	83	46	23		103	25	20	16
Pb	11	13	19	132	12		9	24	32	27
Cu		9	7	11	5		53	22	11	8
Cr	102	32	37	35	7	29	161	15	36	5
V	200	56	54	32	14		253	6	4	8
Ni	94	12	18	9	5	14	143	7	4	4
Co	39	9	9	6	2		50	1	1	1

Примечание. 1 – мезолитовые плагиогнейсы; 2–3 – биотитовые метатоналитовые плагиогнейсы массивные (2) и катаклазированные (3); 4 – биотитовые метатрондьемитовые плагиогнейсы; 5 – лейкократовые метариолитовые плагиогнейсы, катаклазированные; 6 – среднее значение для докембрийских ТТА [14]; 7 – амфиболиты; 8 – калишпат-плагиоклазовые мигматиты; 9 – граниты; 10 – пегматит.  
\* железо, выраженное в виде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

*Биотитовые плагиогнейсы (метатоналитовые).* Обычно это среднезернистые полосчатые с катакlastической структурой, но в верховьях р. Хойто-Гарган обычные массивные разновидности. Они сложены (%) плагиоклазом (45–50), кварцем (20–30), биотитом (4–12), амфиболом (1–4). Акцессорные минералы – циркон, ортит (крупные до 1 см кристаллы), апатит, сфен, магнетит; вторичные – мусковит (1–15), клиноцоизит (2–3), хлорит (3–7). В шлифах две генерации циркона: идиоморфный – (ранний магматический), ксеноморфный и округлый (поздний метаморфический).

*Биотитовые* иногда с реликтовой гранобластовой структурой и массивные плагиогнейсы по петрогеохимическим данным реконструируются как тоналиты (дациты) и гранодиориты. В биотитовых плагиогнейсах так же, как и в докембрийских ТТА [14], большая часть элементов имеет близкие к ним уровни концентраций Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, железа,

CaO, Na<sub>2</sub>O, Rb, Zr, Cr, Ni, но в плагиогнейсах выше содержания Ba, Sr и ниже – K<sub>2</sub>O, REE (табл. 1, 2). Для массивных разновидностей характерны низкие содержания REE с умеренными углами наклонов линий. В разных случаях отмечается как отсутствие, так и слабая положительная Eu аномалии (рис. 2, 1).

*Биотитовые катаклазированные плагиогнейсы* попадают в поля тоналитов. Они (табл. 1, 3) по содержаниям большинства петрогенных (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, железа, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) и редких (Sr, REE, Zr, Cr, Ni) элементов близки к средним значениям ТТА [14]. Среди плагиогнейсов они в наибольшей степени обогащены REE, имеют значительные наклоны линий. Отмечается как отсутствие Eu аномалий, так и небольшая положительная Eu аномалия (рис. 2, 2).

*Плагиогнейсы (метатрондьемитовые)* – полосчатые средне-, редко крупнозернистые разновидности с катакла-

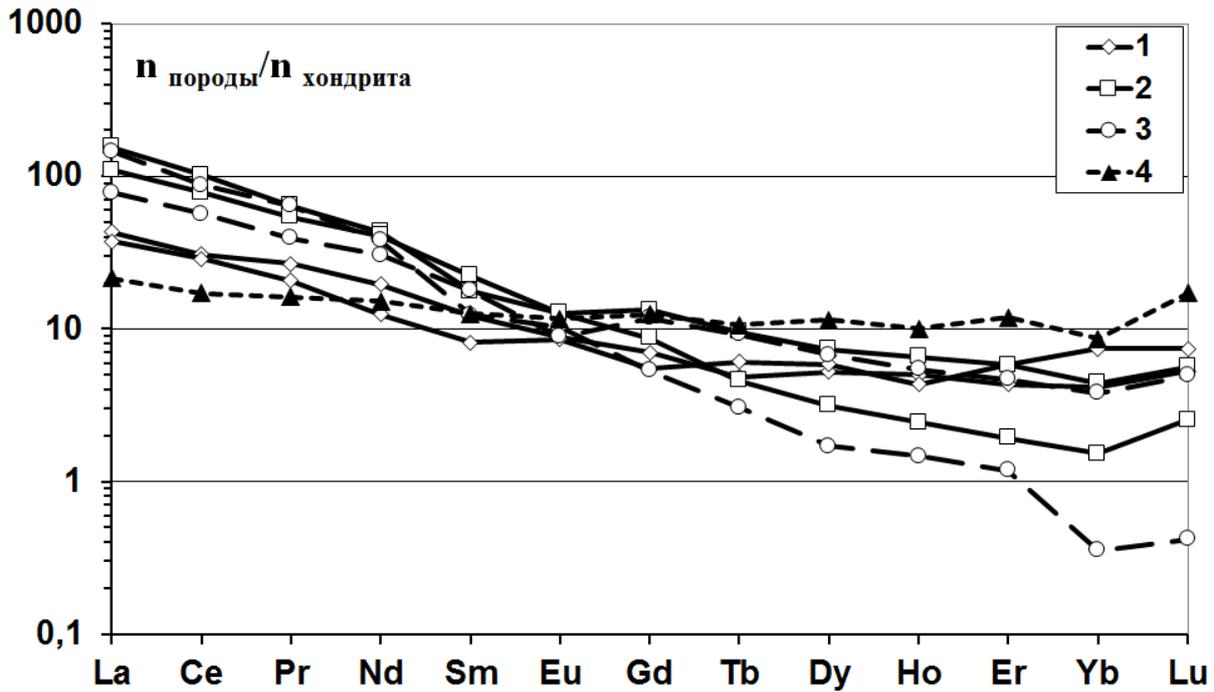


Рис. 2. Распределение REE в плагиогнейсах Гарганской глыбы:  
 1 – биотитовый массивный (тоналитовый); 2 – полосчатые (тоналитовые);  
 3 – катаклазированные (трондьемитовые); 4 – амфиболит

стической гетерогранобластовой, иногда с реликтовой гранобластовой структурой. Состоят (%) из плагиоклаза (35–40), замещенного мусковитом, кварца (20–45), биотита (1–15), амфибола (1–2), микроклина (0–5). Акцессорные минералы – циркон, ортит, апатит, сфен, магнетит; вторичные – мусковит (1–25), клиноцоизит (2–5), хлорит (3–10). Среди них отмечаются более меланократовые биотитовые и лейкократовые катаклазированные плагиогнейсы. Они характеризуются умеренными содержаниями REE, умеренным наклоном линий и отсутствием Eu аномалий (рис. 2, 3).

*Биотитовые плагиогнейсы (метатрондьемитовые)* соответствуют трондьемитам, дацитам (рис. 2, 4). По большинству характеристик – содержаниям  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ , за исключением  $\text{Sr}$ , REE, они близки (табл. 1, 4, 6) к средним значениям докембрийских ТТГА [14].

*Лейкократовые (катаклазированные) плагиогнейсы* реконструируются как риолиты и лейкограниты. В этих

плагиогнейсах наблюдаются высокие концентрации  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Ba}$ , низкие –  $\text{TiO}_2$ , железа,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{La}$ ,  $\text{Ce}$ ,  $\text{Nd}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$  (табл. 1, 5), и они, по сравнению со средними значениями элементов в докембрийских ТТГА [14], имеют с ними мало общего.

*Амфиболиты* слагают пластовые и линзовидные тела в гранито-гнейсах ТТГА. Они обычно полосчатые, иногда массивные средне- и редко крупнозернистые с реликтовой нематогранобластовой и новообразованной катакластической структурами. Состоят (%) из: амфибола (80–85), плагиоклаза (0–10) и вторичных минералов – хлорита, эпидота, ортита (5–15). Реконструируются как базальты высокоалюминиевой нормальной и щелочной серий. По сравнению с архейскими базальтами ТН-1 и ТН-2 они содержат больше  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Sr}$ , REE,  $\text{Ni}$ , меньше –  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{V}$ , примерно равные с ними количества  $\text{SiO}_2$ , железа,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Zn}$  (табл. 1, 7), что не позволяет отнести их ни к одному из этих типов. Амфиболиты из гранито-гнейсов (ТТГА) по гео-

химическим данным (табл. 1, 7) формировались в островодужных обстановках.

*Калишпатовые мигматиты, граниты, пегматиты* слагают согласные и секущие жильные, гнездовые тела мощностью 1–2 м, редко до 10–15 м. Отмечаются переходы от мигматитов к гранитам, что позволяет считать их наложенными, сформированными при ультраметаморфических преобразованиях (гранитизации) ТТА. Все они катаклазированы, но иногда встречаются и массивные калишпатовые гранит-пегматиты. Минеральный состав замещающих ТТА определяют весьма низкие содержания в мигматитах и гранитах Fe, Mg, Ca, Li, Be, F, Mo, Sn, REE, Cr, V, Ni, Co, повышенные –  $Al_2O_3$ , умеренные – Rb, Ba, Sr, Zr, Pb (табл. 1, 8–10).

*Калишпатовые мигматиты* – мезолитовые и лейкократовые катаклазированные породы с варьирующими количествами калиевого полевого шпата, плагиоклаза, кварца, биотита, с обилием вторичных минералов серицита, хлорита, эпидота.

*Калишпатовые граниты* – лейкократовые породы, как правило, катаклазированные, состоящие (%) из калиевого полевого шпата (40–45), плагиоклаза (20–25), кварца (40–45), биотита (2–5).

*Калишпатовые пегматиты* образуют секущие тела жильной и гнездовой формы.

Полученные данные однозначно указывают на то, что гранито-гнейсы фундамента Гарганской глыбы относятся к классическим ТТГА [14], характерным для древнейших зеленокаменных областей кратонов Южной Африки и Северной Америки.

*Тоналит-трондьемитовые ассоциации (ТТА) в раннедокембрийских комплексах Сибирского кратона.* В Присаянском (Шарыжалгайском) краево-м выступе юго-запада Сибирского кратона выделяются: Прибайкальская гранулит-гнейсовая (ПрГГО) и Восточно-Саянская гранит-зеленокаменная области (ВСГЗО). Главными структурными элементами ПрГГО являются шары-

жалгайская, китойская серии (комплексы), а ВСГЗО – Онотский (ОЗП) и Гаргазойский (ТЗП) зеленокаменные пояса. В них ТТА представлены: 1) тоналитами и трондьемитами Китойского (в ОЗП) и Булунского (в ТЗП) блоков; 2) биотитовыми и гиперстеневыми плагиогнейсами, эндербитами гранулитовой фации, плагиомигматитами и мигматит-гранитами, плагиогранитами амфиболитовой фации шарыжалгайской (в Иркутном блоке) и китойской (в Китойском блоке) серий.

*ТТА в Восточно-Сибирской гранит-зеленокаменной области* залегают в основании зеленокаменных поясов, слагая крупные блоки, массивы и тектонические пластины разных размеров, образуя ее инфраструктуру.

В комплексе гранито-гнейсов ОЗП метатоналиты и метатрондьемиты отмечаются в равном соотношении. Для них U-Pb методом по цирконам получен возраст 3,2–3,4 млрд лет [8]. Породы супраструктуры ОЗП метаморфизованы в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций и резко преобладают над ТТА.

В комплексе основания ТЗП гранито-гнейсы ТТА близки по составу и возрасту к породам комплекса основания ОЗП, но по сравнению с ними более интенсивно изменены. Среди них доминируют мигматит-граниты трондьемитового состава.

*ТТА в Прибайкальской гранулит-гнейсовой области* встречаются редко. В шарыжалгайской и китойской сериях отмечено проявление двух периодов [8, 11] изохимических метаморфических и аллохимических ультраметаморфических преобразований (гранитизации) в неоархее (2,562–2,48 млрд лет) и палеопротерозое (1,87–1,85 млрд лет). В гранито-гнейсах Гарганской глыбы выявлены только неоархейские рубежи – 2772 и 2664 млн лет [1, 13].

В шарыжалгайской серии среди ТТА выделяется три группы: метамагматические, «проблемные ТТА», ультраметаморфические (плагиомигматиты

и плагиограниты). Последние по составу и генезису не относятся к ТТА. Метамагматические породы (плагиогнейсы, реконструируемые как метавулканиды андезитового, дацитового и риолитового составов), как и «проблемные ТТА», в отличие от классических не образуют крупных массивов. Они слагают мелкие тела (до 5 м) и по геохимическим параметрам отличаются от классических ТТА [8]. В объеме серии их доля – около 1%. К проблемным ТТА отнесены гиперстеновые и биотит-гиперстеновые плагиогнейсы ( $\pm$ салит, амфибол) и эндербиты гранулитовой фации [8]. По составу они отвечают тоналитам, трондьемитам и гранодиоритам. В качестве нижней возрастной границы раннедокембрийского этапа метаморфизма принята оценка возраста (U-Pb метод по цирконам) кристаллизации –  $2649 \pm 6$  млн лет – секущих гнейсы габбро [11]. Возраст гранитоидов, секущих габбро китойского ультраметагенного комплекса, составляет  $2562 \pm 20$  млн лет [11].

В китойской серии ТТА представлены биотитовыми ( $\pm$ амфибол, гиперстен) плагиогнейсами, мигматитами, ультраметагенными гранитоидами тоналитового и трондьемитового составов [8]. Они, как и в шарыжалгайской серии, не образуют крупных тел и редко встречаются. Возраст плагиогнейсов китойской серии, полученный Rb-Sr изохронным методом, –  $2827 \pm 33$  млн лет [обзор 8].

**Обсуждение результатов.** *Возрастные корреляции ТТА Гарганской глыбы и комплексов Сибирского кратона.* Формирование протолитов ТТА фундамента Гарганской глыбы могло происходить  $\sim 2,8$  млрд лет назад. Позже осуществлялся метаморфизм в условиях амфиболитовой фации и аллохимические ультраметаморфические преобразования ТТА с формированием мигматитов, гранитоидов, пегматитов (2,6–2,7 млрд лет). К этому рубежу ранее (3,2–3,4 млрд лет) были сформированы ТТА,

слагающие инфраструктуру (комплекс основания) ОЗП и ТЗП ВСГЗО юго-запада Сибирского кратона. К периоду 2,7–2,8 млрд лет приурочено становление протолитов метамагматических и «проблемных ТТА» шарыжалгайской и китойской серий.

На завершающих этапах метаморфизма на рубеже 2,66–2,65 (в шарыжалгайской), 2,48 (в китойской) млрд лет происходило ультраметаморфическое (ультраметагенное) гранитообразование (гранитизация) с образованием мигматитов, гранитоидов, пегматитов. В литературе эти гранитоиды известны как китойский ультраметаморфический комплекс [10]. Они распространены в ПрГГО (шарыжалгайская и китойская серии) и ВСГЗО (ТТА гранито-гнейсов ОЗП и ТЗП) Присяянского выступа, а также по гранито-гнейсам ТТА в Гарганской глыбе. Эти гранитоиды можно рассматривать как реперные. Они отражают завершающий неорархейско-раннепалеопротерозойский этап гранитообразования в шарыжалгайском и китойском комплексах (2,65–2,48 млрд лет) и в Гарганской глыбе (2,66 млрд лет). Их становление происходило при раннепалеопротерозойской коллизии палеоархейской зеленокаменной и неорархейской гранулитовой областей.

*Вещественные свойства ТТА Гарганской глыбы и комплексов Сибирского кратона.* Породы фундамента Гарганской глыбы по вещественному составу обособляются от ТТА зеленокаменных и гранулитовых комплексов Сибирского кратона. На графиках (рис. 3) нормирования содержаний элементов к кларку кислых пород прослеживается симбатный характер линий, подтверждая их общую принадлежность к ТТА – выше кларков кислых пород, содержания Mg, Al, Fe, Ca, Na, Sr, V, Ni, Co, Sc, ниже кларков – Mn, K, Ba, Mo, Sn, Yb, Y, Pb (рис. 3, 1–4). Это указывает на сидерофильную специфику ТТА во всех изученных структурах, свидетельствуя

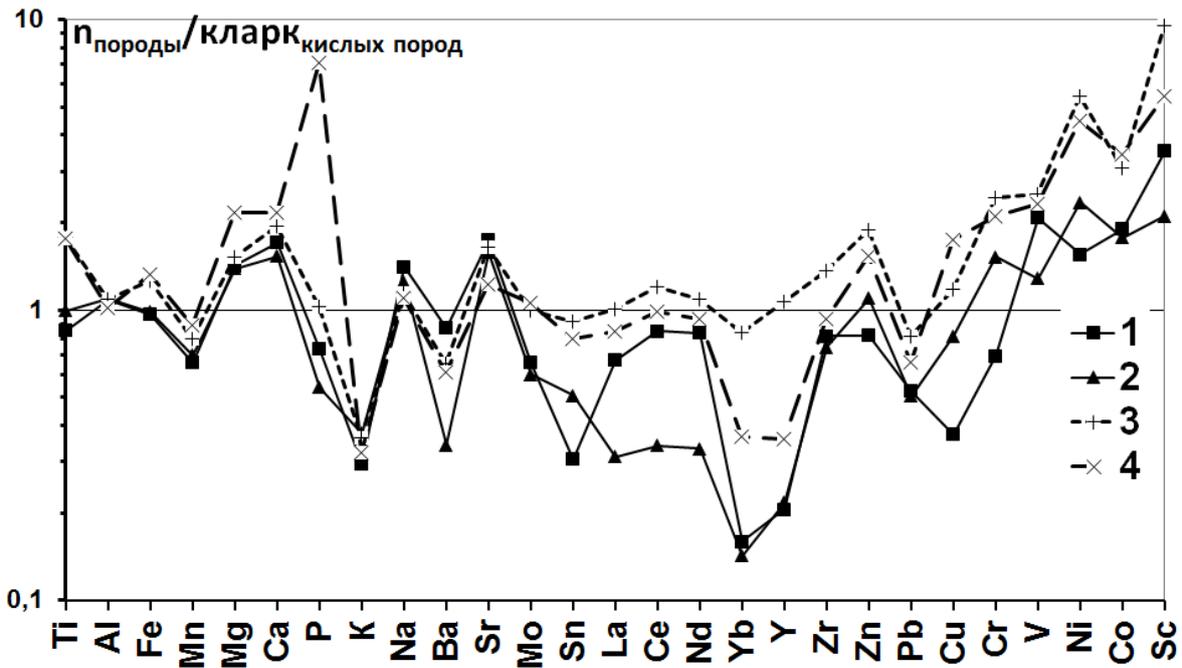


Рис. 3. Графики нормирования содержаний элементов в породах к кларку кислых пород по А.П. Виноградову:

1–2 – тоналит-трондьемитовые ассоциации: 1 – гранито-гнейсов Гарганского блока, 2 – гранито-гнейсов комплекса основания Онотского зеленокаменного пояса; 3–4 – тоналит-трондьемитовые ассоциации гранулитовых серий: 3 – метатоналитовые гнейсы, эндербиты китайской серии, 4 – гиперстеновые плагиогнейсы, эндербиты – «проблемные ТТА» шарыжалгайской серии

об их становлении при плавлении из основных пород. Тоналиты Гарганского блока (рис. 3, 1) и комплекса основания ОЗП (рис. 3, 2) относительно высокометаморфизованных пород (рис. 3, 3–4) содержат меньшие концентрации большинства петрогенных и редких элементов: Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, P, K, Mo, Sn, La, Ce, Nd, Yb, Y, Zr, Zn, Pb, Cu, Cr, V, Ni, Co, Sc и большие – Na. Такой характер распределения элементов отражает сходство ТТА Гарганской глыбы (рис. 3, 1) с комплексом гранито-гнейсов основания ОЗП (рис. 3, 2) и различия от ТТА шарыжалгайского и китайского высокометаморфизованных комплексов ПрГГО (рис. 3, 3–4).

На спайдер-диаграммах (нормирование по мантии, [15]) линии ТТА комплексов гранито-гнейсов Онотского и Таргазойского ЗП, Гарганской глыбы, метамагматических и проблемных ТТА шарыжалгайской серии Сибирского кратона в целом симбатны (рис. 4, 1–5).

Главные различия между ними – в ТТА Гарганской глыбы относительно других комплексов фиксируются более высокие концентрации Ba (рис. 4, 1–5). На спайдер-диаграмме линии распределения элементов в ТТА Гарганской глыбы и гранито-гнейсах Онотского зеленокаменного (рис. 4, 1,3) близки и отличаются только наличием на графике для пород Гарганской глыбы U минимума, Ba, Sr максимумов. Гранито-гнейсы Гарганской глыбы и проблемные ТТА шарыжалгайского комплекса по характеру линий симбатны (рис. 4, 3,5). В то же время, неоархейские метамагматические породы шарыжалгайского комплекса (рис. 4, 1–5) отличаются от гранито-гнейсов ТТА ОЗП и ТЗП по содержаниям Sm, P, Nd, Zr, HREE.

Для ТТА Гарганской глыбы и комплексов Сибирского кратона фиксируется довольно близкий характер распределения REE (рис. 5, 1–4) в тоналитах (рис. 5, а) и трондьемитах (рис.

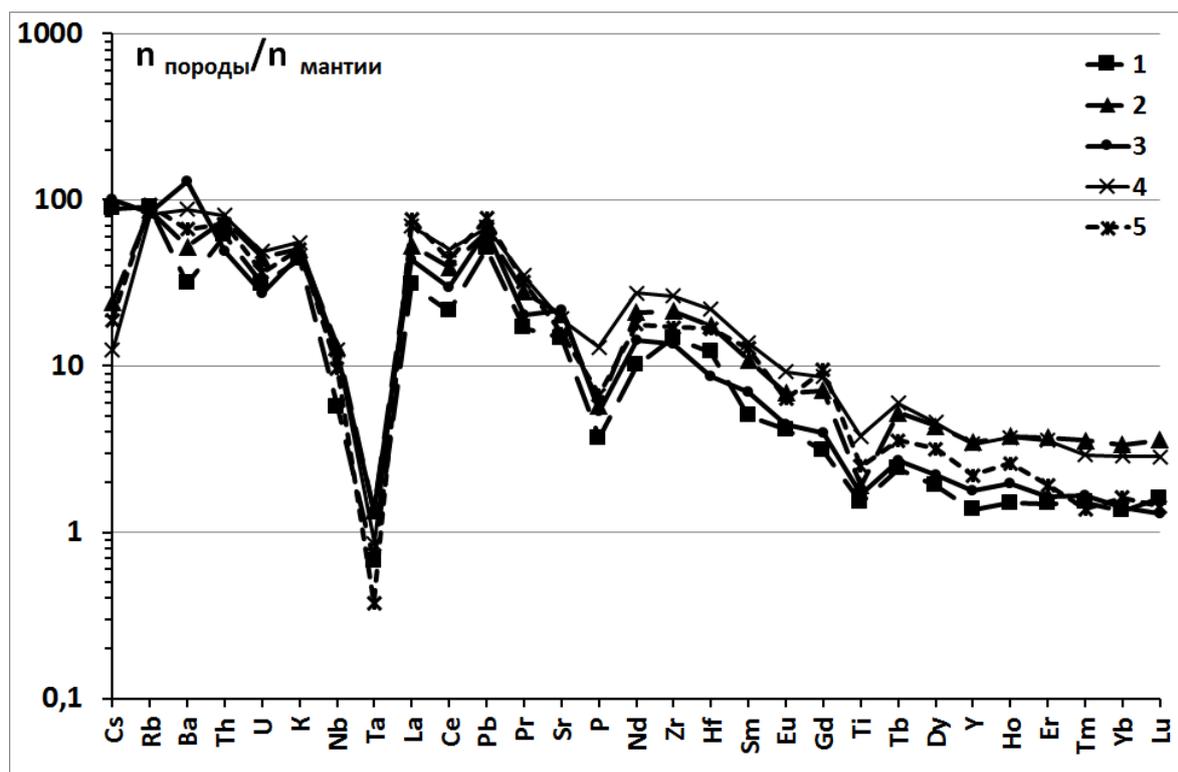


Рис. 4. Спайдер-диаграмма для пород ТТА гранито-гнейсов Присяянского выступа, Гарганской глыбы (нормирование по мантии) [15]:

1–2 – гранито-гнейсового основания: 1 – Онотского, 2 – Таргазойского зеленокаменных поясов;  
 3 – Гарганской глыбы; 4–5 – неархейских ТТА шарыжалгайского комплекса:  
 4 – метамагматических, 5 – проблемных

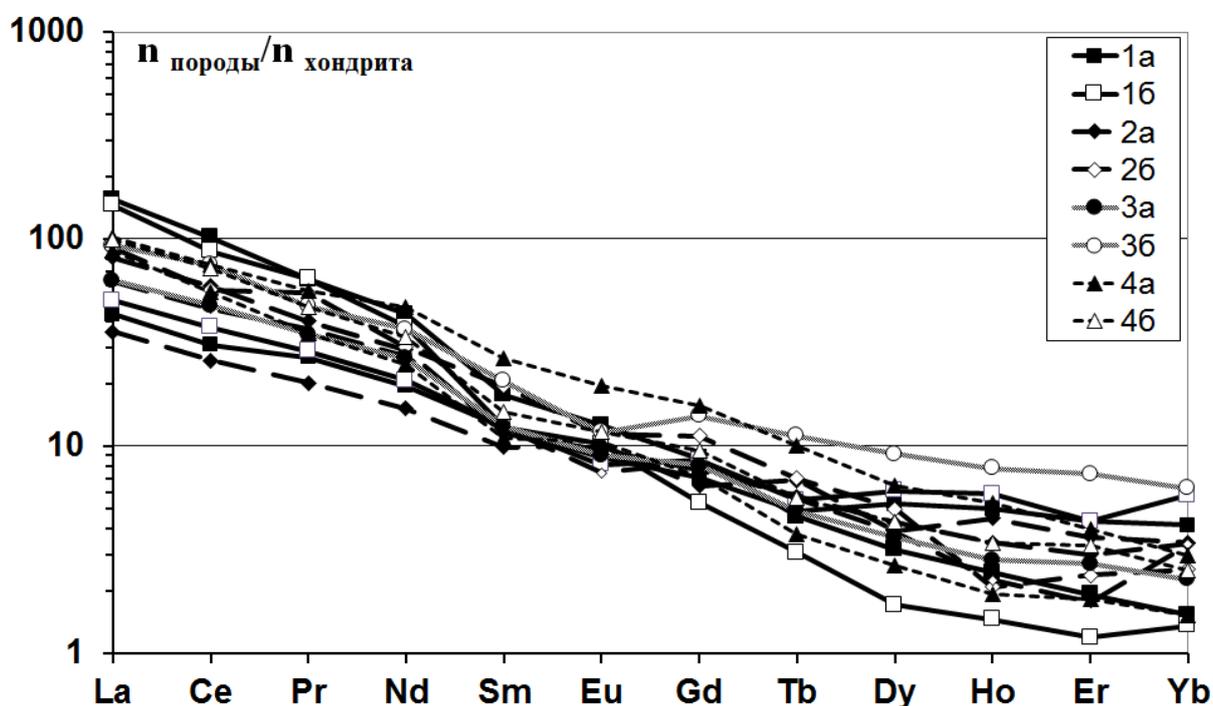


Рис. 5. Распределение REE в метатоналитовых (а) и метатрондьемитовых (б) плагиогнейсах Гарганской глыбы (1), Онотского (2) и Таргазойского (3) зеленокаменных поясов, проблемных ТТА шарыжалгайского комплекса (4)

5, б). Для ТТА Гарганской глыбы (рис. 5, 1), Олотского (рис. 5, 2) и Гаргазойского (рис. 5, 3) ЗП, проблемных ТТА шарыжалгайского комплекса (рис. 5, 4) отмечается симбатный характер линий распределения REE. Такое поведение REE в ТТА из фундамента Гарганской глыбы, комплексов гранито-гнейсов основания ОЗП и ТЗП, шарыжалгайского комплекса указывает на единую природу.

*Стратиграфическое положение пород Гарганской глыбы.* В начале 30-х годов XX в. одни исследователи [9] считали, что Гарганская глыба является частью фундамента Сибирского кратона [4], позже полагали [2, 7 и др.], что она представляет изолированный от фундамента блок ("глыбу", «кратонный террейн») в Центрально-Азиатском складчатом поясе. В настоящий момент мнения разделились. Часть исследователей считает глыбу осколками Сибирского кратона, часть – фрагментом одного из Гондванских материков [7, 12 и др.).

Имеющиеся данные, прежде всего относительная стабильность тоналит-трондьемитовых составов на территории глыбы с возрастными формироваиями и преобразованиями, близкими к рубежам петрогенезиса в шарыжалгайском комплексе, свидетельствуют о том, что Гарганская глыба является частью фундамента Сибирского кратона. Полных аналогов ТТА Гарганской глыбы в нем по вещественному составу и возрасту не установлено. Одним из главных аргументов отнесения его к Сибирскому кратону является то, что накопление протолитов ТТА Гарганской глыбы и пород шарыжалгайской серии происходило в один период – 2,7–2,8 млн лет, но протолит у них и степень их метаморфизма были разными. Ведущим типом пород в фундаменте глыбы были ТТА, наблюдаемые в крупных массивах, сформированных при плавлении утолщенной коры и основных пород. Породы шарыжалгайской (и китойской) серии представляют гетерогенные осадочно-вулканогенные толщи, метамор-

физованные в условиях гранулитовой фации. В обоих случаях становление их протолитов происходило в зонах неоархейской коллизии – ТТА в Гарганской глыбе, с одной стороны, вулканических пород (двупироксеновых сланцев и гнейсов), метаосадочных биотит-гранатовых (кордиерит, силлиманит) гнейсов и сланцев), с другой.

Близкие по возрасту и петрогеохимическим характеристикам к Гарганскому блоку ТТА известны в Байдаргинском комплексе Байдарикского блока Дзабханского микроконтинента [6]. В плагиогнейсах SHRIMP II методом фиксируется возраст: протолитов метабазитов – ~ 2,8 млрд лет, тоналитов – 2,65 млрд лет; метаморфизм гранулитовой фации – 2,65–2,5 млрд лет и амфиболитовой – ~ 1,8 млрд лет. В блоке встречены посткинematические калиевые гранитоиды с возрастом 1,82 млрд лет [6].

В гранито-гнейсах ТТА Гарганской глыбы, комплексах ПрГГО (шарыжалгайская и китойская серии) и ВСГЗО (ТТА основания ОЗП и ТЗП) на рубеже 2,65–2,5 млрд лет проявлено ультраметаморфическое (ультраметагенное) гранитообразование (гранитизация) с образованием гранитоидов и пегматитов. Эти гранитоиды китойского ультраметагенного комплекса, завершающие раннепалеопротерозойский период, можно рассматривать как реперные. Их появление, синхронное в комплексах ПрГГО и ВСГЗО, в Гарганской глыбе может указывать на общую их принадлежность к Сибирскому кратону.

#### **Выводы:**

1. Низкометаморфизованные породы фундамента Гарганской глыбы и высокометаморфизованные породы шарыжалгайской серии (особенно наиболее распространенные в ней метамагматические) в большинстве своем при сравнении между собой имеют разные вещественные характеристики. К тому же гнейсы шарыжалгайской серии, реконструируемые как ТТА, не образуют крупных массивов, а присутствуют в

виде маломощных пластов, занимая крайне незначительный объем серии. Это указывает на то, что породы фундамента Гарганской глыбы не имеют ничего общего с породами шарыжалгайской серии.

2. В наибольшей степени ТГА фундамента Гарганской глыбы по петрогеохимическим свойствам близки к ТГА комплекса гранито-гнейсов основания Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов, которые по всем параметрам присущи древнейшим (3,2–3,4 млрд лет) образованиям.

3. В гранито-гнейсах Гарганской глыбы (2,66 млрд лет) и комплексах ПрГГО (шарыжалгайская и китойская серии) и ВСГЗО (ТГА комплексов гранито-гнейсов основания Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов) на рубеже 2,65–2,5 млрд лет проявлено ультраметаморфическое (ультраметатенное) гранитообразование (гранитизация) с формированием гранитоидов и пегматитов китойского ультраметаморфического комплекса [10]. Этот региональный процесс проявлен во всех раннедокембрийских структурах Присяянского краевого выступа Сибирского кратона. Присутствие подобных гранитоидов с возрастом 2,66 млрд лет [10] в фундаменте Гарганской глыбы свидетельствует о том, что и она в неоархейский период являлась частью Сибирского кратона.

4. Породы фундамента Гарганской глыбы являются отколовшимся блоком фундамента Сибирского кратона, близкого по составу к ТГА Онотского и Таргазойского зеленокаменных поясов, а по возрасту соответствуют проявлению регионального гранитообразования в раннедокембрийских комплексах ПрГГО и ВСГЗО в интервале 2,6–2,5 млрд лет.

5. Комплекс гранито-гнейсов основания Гарганской глыбы имеет простой состав: тоналиты и трондьемиты, амфиболиты, ультраметаморфические гранитоиды с возрастом 2,71–2,61 млрд лет. Подобные (по составу и возрасту)

образования в таком большом объеме неизвестны среди пород Присяянского краевого выступа, что позволяет говорить о его самостоятельности и необходимости выделения как нового структурно-вещественного комплекса фундамента Сибирского кратона.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-31036 мол\_а.*

### Библиографический список

1. Анисимова И.В., Левицкий В.И., Сальникова Е.Б. и др. Новые данные о возрасте метаморфизма в западной части Иркутского блока Присяянского краевого выступа фундамента Сибирской платформы // Изотопные системы и время геологических процессов: материалы IV Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб.: ИГГД РАН, 2009. Т. 1. С. 35–36.
2. Беличенко В.Г., Резницкий Л.З., Гелетий Н.К., Бараш И.Г. Тувино-Монгольский массив (к проблеме микроконтинентов Палеоазиатского океана) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 6. С. 554–565.
3. Геология и метаморфизм Восточного Саяна / В.Г. Беличенко, Ю.П. Бутов, Н.Л. Добрецов и др. Новосибирск: Наука, 1988. 192 с.
4. Докембрий Восточного Саяна (ред. А.А. Полканов). М.-Л.: Наука, 1964. 328 с.
5. Ильин А.В. О Тувино-Монгольском массиве // Материалы по региональной геологии Африки и Зарубежной Азии. М.: НИИ «Зарубежгеология», 1971. С. 67–71.
6. Козаков И.К., Сальникова Е.Б., Вонг Т. и др. Кристаллические комплексы нижнего докембрия Дзабханского микроконтинента Центральной Азии: Возраст, источники, тектоническая позиция // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15, № 2. С. 3–24.
7. Кузмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и

раннекаледонский этапы. М.: «ПРОБЕЛ-2000», 2004. 192 с.

8. Левицкий И.В. Геохимия гранулитовых и зеленокаменных комплексов Присаянского выступа фундамента Сибирской платформы: автореф. дис. ... канд. геол.-минералог. наук. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2012. 22 с.

9. Лодочников В.Н. Петрология Ильчирско-Мондинского района // Труды Вост.-Сиб. геол. упр. Иркутск: Иркут. обл. изд-во, 1941. Вып. 28. 212 с.

10. Магматические формации юга Восточной Сибири и Северной Монголии (Объяснительная записка к карте масштаба 1:500000, ред. Абрамович Г.Я.). 1989. 119 с.

11. Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Левицкий В.И. и др. Возрастные рубежи высокотемпературного метаморфизма в кристаллических комплексах Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирской платформы: результаты U-Pb датирования единичных зерен циркона

// Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15, № 4. С. 3–19.

12. Хераскова Т.Н., Буш В.А., Диденко А.Н., Самыгин С.Г. Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана // Геотектоника. 2010. № 1. С. 5–28.

13. Kovach V.P., Matukov D.L., Berezhnaya N.G. et al. SHRIMP zircon age of the Gargan block tonalites - find early precambrian basement of the Tuvino-Mongolian microcontinent, Central Asia mobile belt // 32th Intern. Geological Congress, Florence. Session: "T31.01 - Tectonics of Precambrian mobile belts" Abstract. 2004. P. 57

14. Martin H. The Archean grey gneiss and the genesis of continental crust // Condie, K.C. (Ed.), Archean Crustal Evolution. Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 205–259.

15. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 223–253.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент Иркутского государственного технического университета И.Н. Семейкин