

ПЕТРОЛОГИЯ

УДК 552.321.5: 551.248.1

НАДСУБДУКЦИОННЫЕ ПРЕДДУГОВЫЕ ГАББРО ДУУШКУННУГСКОГО МАССИВА (ТУВА): НЕОБЫЧНЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПРОБЛЕМА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

А.А. Монгуш, Р.В. Кужугет

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия

На основании геологических, петро- и геохимических, Sm-Nd изотопных и Ar/Ar геохронологических данных показано, что Дуушкуннугский габбровый массив является надсубдукционным преддуговым интрузивом. Обогащенный относительно островодужных габброидов несовместимыми элементами химический состав габбро массива обусловлен, вероятно, тем, что на рубеже венда и кембрия всё еще оставался активным, хотя и в эпизодическом масштабе, мантийный источник или источники инициальных базальтов, образование которых связано с процессами заложения зоны субдукции.

Ключевые слова: преддуговая зона, габбро, возраст, геохимический состав, геодинамическая позиция, Тува.

Одной из актуальных и дискуссионных проблем магматизма и тектоники является проблема магматизма в структурах преддуговых зон палеоостроводужных систем. Дискуссионность этой проблемы обусловлена во многом подводным залеганием современных преддужий и, соответственно, их плохой изученностью [Stern et al., 2012]. Среди исследователей, в том числе отечественных, преобладает воззрение на преддуговые магматические образования как преимущественно аккреционные. В частности, в Алтае-Саянской области выделяют комплексы аккреционных призм, сложенных преимущественно океаническими породами [Берзин и др., 1994; Берзин, Кунгурцев, 1996; Preliminary... 1999]. Однако не все преддуговые магматиты являются аккреционными. В настоящей статье приведены данные в пользу автохтонной (не аккреционной) природы габбро, залегающих в преддуговой зоне тувинского сегмента V–Є₁ островодужной системы Алтае-Саянской складчатой области, а также осуществлена попытка обосновать их геодинамическую природу.

Геологическое положение и строение

Дуушкуннугский габбровый массив находится в Западной Туве, в 6 км на север от устья р. Алаш, на левом борту одноименного сухого лога. Он представляет собой протрузивное тело, локализованное в ядре антиклинальной складки, крылья которой сложены парасланцами чергакской свиты силурийского возраста. Силурийские сланцы являются составной частью осадочного чехла Хемчикско-Сыстыгхемского коллизионного прогиба, образованного в течение Є₂–S [Берзин, Кунгурцев, 1996]. Фундамент этого проги-

ба складывается офиолитами ($578,1 \pm 5,6$ млн лет) [Монгуш и др., 2011a], вулканогенно-осадочными образованиями V–Є₁ алдынбулакской свиты, осадочными отложениями актуругской свиты, содержащей фауну санаштыггольского горизонта Є₁, а также габбро, результаты исследования которых представлены в данной статье.

V–Є₁ образования, слагающие фундамент Хемчикско-Сыстыгхемского прогиба, представляют собой комплексы преддуговой зоны V–Є₁ островной дуги Палеоазиатского океана [Берзин, Кунгурцев, 1996; Монгуш, 2016]. Среднекембрийский возраст наиболее древних отложений осадочного чехла прогиба, выделяемых в составе аласугской серии, фиксирует время начала собственно коллизионного этапа развития региона, т.е. главной фазы раннекаледонской коллизии в среднем кембрии – раннем ордовике. Вместе с тем локальные тектонические дислокации, связанные, видимо, с началом аккреции, фиксируются на границе верхневендских и нижнекембрийских островодужных осадочно-вулканогенных толщ Таннуольской подзоны островодужной системы [Монгуш и др., 2011б].

Хемчикско-Сыстыгхемский коллизионный прогиб возник в процессе поперечного сжатия преддуговой структуры в результате коллизии океанического поднятия (метабазальты и ортосланцы джебашской серии Западного Саяна) и тувинского сегмента V–Є₁ островной дуги Палеоазиатского океана [Берзин, 1987; Берзин, Кунгурцев, 1996; Государственная... 2003; Волкова и др., 2009]. В западной и центральной части прогиба в виде горст-антиклинальных структур субширотного простираения среди Є₂–S молассы выступают комплексы его фундамента. Дуушкуннугский

массив представляет одно из тел в одном из выступов фундамента прогиба (рис. 1).

Размеры Душкуннугского массива составляют 300×130 м, он ориентирован в широтном направлении вдоль оси антиклинали. О протрузивном характере габбрового массива свидетельствуют смятые в микроскладки силурийские сланцы в его экзоконтакте. Массив сложен преимущественно массивными, мезократовыми, среднезернистыми габбро. В юго-восточной части массива габбро имеют ориентированную на В-С-В расслоенность, обусловленную чередованием тонких полос мезо- и лейкократовых разновидностей габбро (рис. 2). Габбро преимущественно имеют пойкилитовую, пойкилоофи-

товую микроструктуры – первым кристаллизовался плагиоклаз в виде удлинённых кристаллов размером $0,1-0,3$ мм, они включены в более крупные ($1-3$ мм) зёрна клинопироксена и бурой роговой обманки. Эти особенности габбро свидетельствуют о гипабиссальной фации глубинности их образования. При приближении к контактам текстурно-структурные особенности габбро не меняются, т.е. в массиве представлен лишь фрагмент интрузивного тела. Осевая часть антиклинальной складки пронизана согласными девонскими дайками основного и кислого состава. Одна из них, дайка риолит-порфира, общая протяжённость которой составляет около 5 км, пересекает габбро Душкуннугского массива (рис. 1).

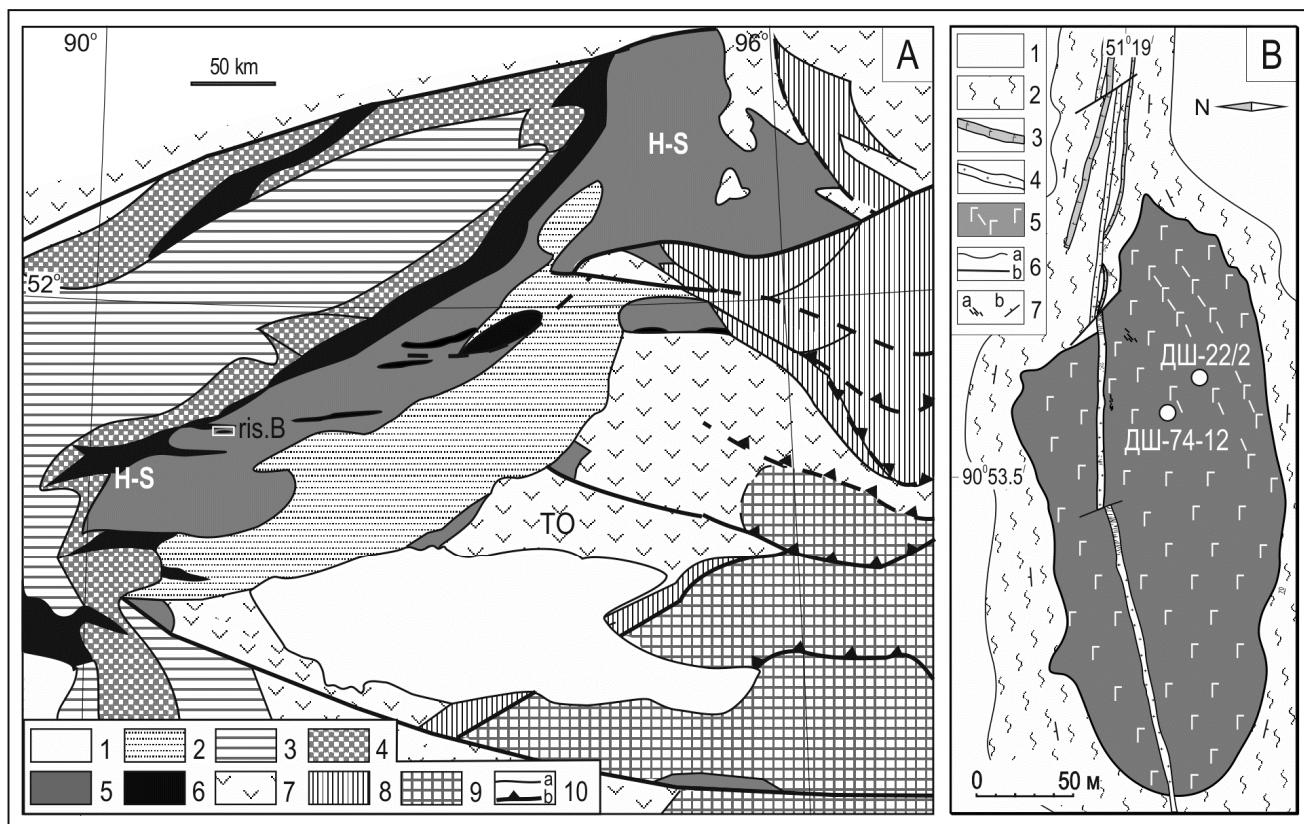


Рис. 1. Геологическое положение и строение Душкуннугского габбрового массива

A – Геодинамическая схема Тувы и Западного Саяна (составлена с использованием данных [Берзин, Кунгурцев, 1996; Preliminary... 1999]): 1 – KZ-наложенные отложения; 2 – D-Тувинский рифтогенный прогиб; 3 – E_1-S турбидиты континентальной окраины; 4 – комплексы аккреционной призмы (джебашская серия, $V-E_1$); 5–6 – Хемчикско-Сыстыгхемский коллизионный прогиб; 5 – выступы V_2-E_1 фундамента, 6 – E_2-S осадочный чехол; 7 – V_2-E_1 островодужные комплексы; 8 – V_2-E_1 задуговые комплексы; 9 – комплексы Тувино-Монгольского микроконтинента (массива); 10 – границы террейнов (a), главные постааккреционные разломы и надвиги (b). H-S – Хемчикско-Сыстыгхемская преддуговая подзона, ТО – Танну-Ола островодужная подзона. *B* – Геологическая карта Душкуннугского габбрового массива: 1 – Q отложения; 2 – S сланцы; 3–4 – D дайки: 3 – микрогаббро, 4 – риолит-порфира; 5 – E_1 габбро Душкуннугского массива, массивные и расслоенные; 6 – геологические границы (a), разломы (b); 7 – кварцевые жилы (a), элементы залегания (b). Кружочки – места отбора образцов

Fig. 1. Geological position and structure of the Duushkunnug gabbro massif

A – Geodynamic scheme of Tuva and Western Sayan (compiled using data [Berzin, Kungurtsev, 1996; Preliminary... 1999]): 1 – KZ-overlap assemblages; 2 – D-rifting Tuvian trough; 3 – E_1-S turbidites continental margin; 4 – complexes of the accretionary prism (Dzhebash series, $V-E_1$); 5–6 – Khemchik-Systygheh collisional trough; 5 – V_2-E_1 ledges foundation, 6 – E_2-S sedimentary cover; 7 – V_2-E_1 island-arc complexes; 8 – V_2-E_1 back-arc complexes; 9 – complexes of the Tuva-Mongolian microcontinent (massif); 10 – boundaries of terranes (a), the main postaccretion faults and thrusts (b). H-S – Khemchik-Systygheh forearc subzone, TO – Tannu-Ola island arc subzone. *B* – Geological map of the Duushkunnug gabbro massif: 1 – Q sediment; 2 – S slate; 3–4 – D dykes: 3 – microgabbro, 4 – rhyolite-porphry; 5 – E_1 gabbro of the Duushkunnug massif, massive and foliated; 6 – geological boundaries (a), faults (b); 7 – quartz veins (a), the occurrence of stratification (b). Circles – place of selection of the samples



Рис. 2. Расслоенные габбро
Дуушкуннугского массива

Fig. 2. Layered gabbro of the Duushkunnug massif

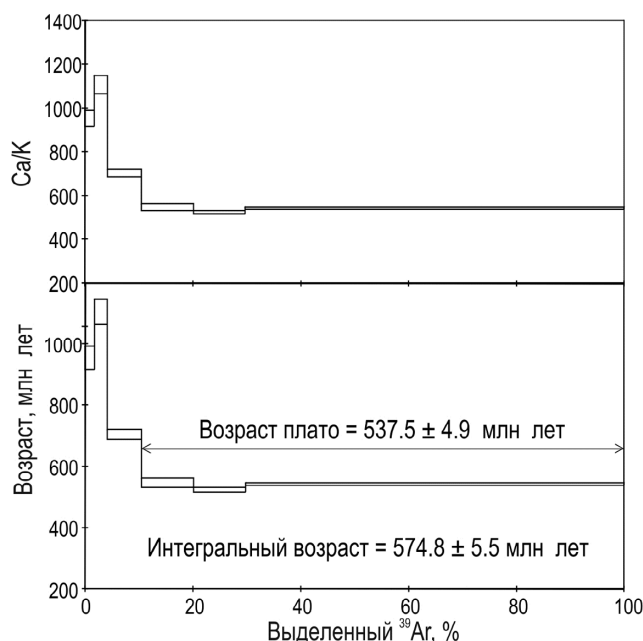


Рис. 3. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ спектры (возрастной и Ca/K)
роговой обманки из габбро (обр. ДШ-22/2)
Дуушкуннугского габбрового массива

Fig. 3. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ spectra (age and Ca/K)
of hornblende from gabbro (sample DSH-22/2),
Duushkunnug gabbro massif

Аналитические исследования

Содержания петрогенных элементов определялись рентгенофлуоресцентным методом в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск) и ИГЕМ РАН (г. Москва). Содержания микроэлементов определены в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск) методом ICP-MS на установке Agilent 7500с (аналитик Е.В. Смирнова). Определение изотопного состава Sm и Nd в пробе ДШ-22/2 выполнено в Байкальском ЦКП СО РАН (г. Иркутск) на приборе Finnigan Г.П. Сандомировой. Геохронологические исследования ^{40}Ar – ^{39}Ar методом выполнены в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) А.В. Травинным по методике, подробно описанной в [Травин и др., 2009]. Холостой опыт по ^{40}Ar при 1 200°C в течение 40 мин не превышал $5\text{--}10\cdot 10^{-11}$ г.

Возраст. Для определения возраста пород Дуушкуннугского массива $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом исследовалась монофракция бурой роговой обманки из габбро,

обр. ДШ-22/2. Монофракция получена путем дробления образца в железной ступке и ручного выделения зерен роговой обманки под бинокляром.

В обнажении порода, из которой отобран образец ДШ-22/2, имеет полосчатую или расслоенную текстуру (рис. 2), в шлифе – пойкилитовую микроструктуру. Содержание плагиоклаза в образце составляет около 68%, по составу он основной, в центральной части зерен замещен клиноцоизитом. Клинопироксен (10%) по периферии зерен обрастает бурой, иногда переходящей в голубовато-зеленую, роговой обманкой (7%). Актинолит и хлорит замещают клинопироксен и роговую обманку – их приблизительно по 5%. Акцессорные минералы (5%, по мере уменьшения их количества): титаномагнетит, эпидот, апатит, кварц.

На графике ступенчатого нагрева роговой обманки наблюдается устойчивое плато с рассчитанным значением $T = 537,5 \pm 4,9$ млн лет (рис. 3). Учитывая, что становление массива происходило в гипабиссальных условиях, т.е. его остывание было отно-

сительно быстрым – это является важным для интерпретации $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данных [Травин и др., 2009], полученная датировка может быть принята близкой к возрасту кристаллизации габбро Душкуннугского массива. Согласно общей стратиграфической шкале она соответствует рубежу венда и кембрия (535 ± 1 млн л. по [Стратиграфический... 2006]).

Вещественный состав. Массив состоит из сред-незернистого амфиболсодержащего габбро. Содержание амфибола достигает 10%, первично-магматическая роговая обманка образует каемки вокруг зерен клинопироксена. Большая часть первичных темноцветных минералов обычно замещена актинолитом и хлоритом. Плаггиолаз основного состава наполовину сосюртитизирован.

Габбро характеризуются умеренными содержаниями (в мас. %) TiO_2 – 1,2–1,7; Al_2O_3 – 14; Na_2O – 2,4–2,7; K_2O – 0,1–0,2 и P_2O_5 – 0,1; умеренно-фракционированным характером распределения редких элементов $(\text{Th}/\text{Yb})_n = 2,5$; содержанием REE на уровне 30–11 хондритовых единиц; небольшим преобладанием LREE над HREE $(\text{La}/\text{Yb})_n = 1,9$ –2,1; положительной аномалией Pb и небольшой отрицательной Nb аномалией на спайдердиаграмме (таблица, рис. 4).

Результаты Sm–Nd изотопного анализа образца ДШ-22/2: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512887$; $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,182612$; $\varepsilon_{\text{Nd}}(\text{T}) = +5,8$.

Обсуждение

Слабовыраженная отрицательная Nb аномалия, положительная Pb аномалия, небольшое преобладание LREE над HREE (рис. 4) – все эти признаки в совокупности указывают на присутствие определенного количества субдукционного компонента в мантийном источнике габбро данного массива.

Вместе с тем на дискриминационных диаграммах составы габбро попадают в поля как толеитов островных дуг, так и E-MORB, или занимают промежуточное положение между базальтами островных дуг и океанических плато, например на диаграмме Nb/Th – Zr/Nb [Condie, 2005] (рис. 5).

По геохимическому составу габбро Душкуннугского массива заметно отличаются от островодужных габброидов Тувы, формировавшихся из деплетированного мантийного источника, модифицированного надсубдукционными флюидами. Например, от габброидов Ирбитейского массива в Таннуольской островодужной подзоне (рис. 1) с возрастом 539 ± 6 млн лет ($\varepsilon_{\text{Nd}}(\text{T}) = +7,8$) [Монгуш и др., 2011б] они отличаются относительно повышенной титанистостью, пониженной глиноземистостью, слабо выраженной Nb отрицательной аномалией, более низким значением $\varepsilon_{\text{Nd}}(\text{T}) = +5,8$. Такие особенности состава габбро, указывающие на наличие слабовыраженного субдукционного компонента и образование

из относительно обогащенного мантийного источника, могут указывать на специфические условия формирования габбрового расплава в надсубдукционной обстановке.

Специфический геохимический состав габбро Душкуннугского массива обуславливает неоднозначность геодинамической интерпретации. В наших ранних тезисах об этом массиве предполагалось, что он может представлять фрагмент плутонической части океанического лавового поднятия, аккретированный в преддуговую структуру, либо исходная магма габбро была выплавлена над зоной субдукции после ее заклинивания океаническим поднятием и реализации механизма «slab window» [Монгуш, Кужугет, 2012].

Химический состав габбро Душкуннугского массива

Chemical compositions of the gabbro of the Duushkunnug massif

№ обр.	ДШ-22/2	ДШ-74-12
SiO_2	47,62	51,00
TiO_2	1,24	1,66
Al_2O_3	13,97	13,98
Fe_2O_3	12,47	12,87
MnO	0,175	0,18
MgO	9,271	7,80
CaO	9,04	8,77
Na_2O	2,71	2,36
K_2O	0,20	0,10
P_2O_5	0,13	0,10
ППП	3,51	1,17
Сумма	100,4	100,00
Cs	0,52	0,38
Rb	2,94	1,20
Ba	64,5	59,3
Th	1,04	0,94
U	0,24	0,29
Nb	4,44	4,39
Ta	0,31	0,35
La	7,15	5,53
Ce	17,21	13,72
Pb	2,18	2,39
Pr	2,48	1,89
Sr	210	231
Nd	11,10	9,20
Zr	75,9	78,3
Hf	2,17	2,05
Sm	3,28	2,70
Eu	1,12	1,04
Gd	4,06	3,59
Tb	0,68	0,58
Dy	4,43	3,61
Y	24,15	21,41
Ho	0,91	0,75
Er	2,56	2,23
Tm	0,37	0,31
Yb	2,29	2,02
Lu	0,3	0,3

Примечание. Петрохимические анализы обр. ДШ-22/2 получены в ИГХ СО РАН, обр. ДШ-74-12 – в ИГЕМ РАН.

Note. The rocks were analyzed at Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS and IGEM RAS.

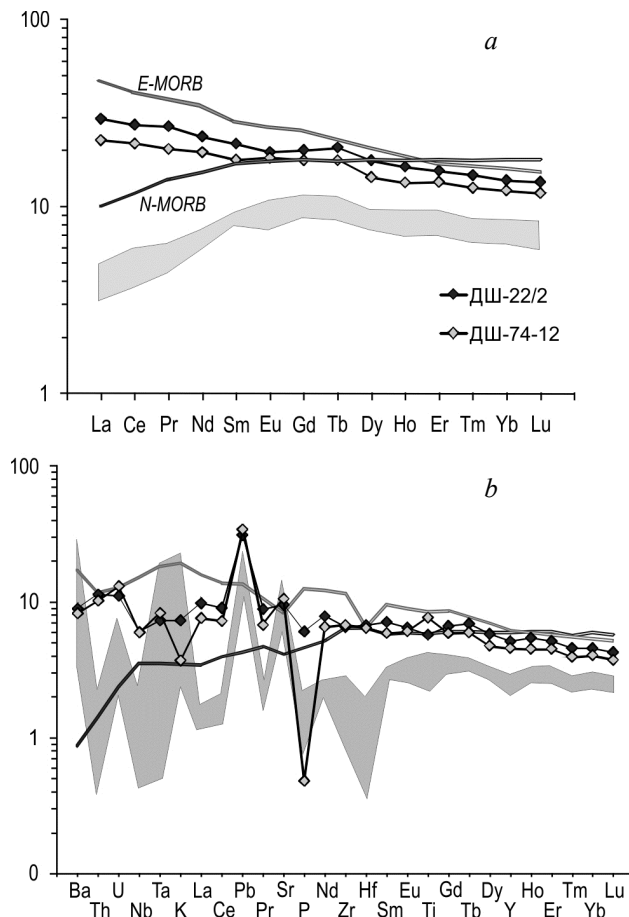


Рис. 4. Нормированные к хондриту (a) и примитивной мантии (b) спектры распределения редких элементов в габбро Дуушкуннугского массива

Серое поле – габброиды Ирбитейского массива

Fig. 4. Chondrite-normalized (a) and PM-normalized (b) patterns for gabbro of the Duushkunnug massif

Grey field – gabbroids of the Irbit massif

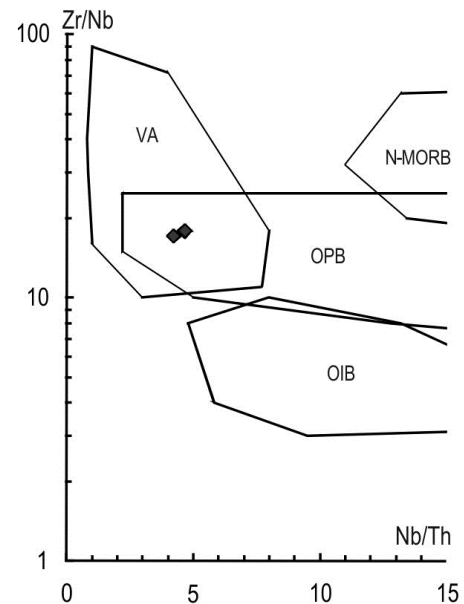


Рис. 5. Дискриминационная диаграмма Nb/Th – Zr/Nb для габбро Дуушкуннугского массива

Поля составов: VA – базальтов вулканических дуг; N-MORB – «нормальных» базальтов срединно-океанических хребтов; OPB – базальтов океанических плато; OIB – базальтов океанических островов

Fig. 5. Discriminant Nb/Th – Zr/Nb diagram for gabbro of the Duushkunnug massif

Compositional fields: VA – volcanic arc basalts; N-MORB – normal mid-ocean ridge basalts; OPB – ocean plateau basalts; and OIB – ocean island basalts

Первое предположение основано на том, что базальты океанического поднятия и образованные по ним при субдукционном метаморфизме сланцы (ортосланцы джебашской серии) широко распространены в северо-западном обрамлении Хемчикско-Куртушибинского преддугового прогиба, в зоне глубоководного палеожелоба [Волкова и др., 2009; Государственная... 2003, 2008; Монгуш, 2016] (см. рис. 1). Однако, как нам теперь представляется, эту версию следует признать несостоятельной. Во-первых, некорректно игнорировать субдукционный компонент в составе габбро, хотя и слабовыраженный, поскольку такой компонент априори не может присутствовать в продуктах океанического внутриплитного базитового магматизма. Во-вторых, плутоническая часть океанического поднятия, как более глу-

бинная составляющая океанической плиты, скорее всего, будет субдуцирована в мантию. В-третьих, V–Є₁ комплексы в выступах фундамента Хемчикско-Сыстыгхемского прогиба, на основании геологических данных, являются автохтонными образованиями преддуговой зоны, т.е. они не относятся к аккрецированным океаническим комплексам [Монгуш, 2016, 2017].

Более обоснованной могла бы являться версия, связанная с реализацией механизма «slab window». Однако для данного сегмента островной дуги сосуществование разнотипного магматизма – адакитового, «внутриплитного» и островодужного, которое можно связать с обстановкой типа «slab window», – имело место позднее, во второй половине раннего кембрия (ботомский век) [Монгуш и др., 2011б]. Вместе с тем в ука-

званной статье отмечается стратиграфическое несогласие между V_2 кадвойской и E_1 серлигской свитами в Таннуольской островодужной подзоне и что именно с рубежа венда и кембрия могла начаться аккреция островодужных, задуговых, океанических и метаморфических структурно-вещественных комплексов региона, в то время как главная фаза аккреционно-коллизийного этапа началась со E_2 , около 510 млн л. н. [Монгуш и др., 2016].

Развитие Хемчикско-Сыстыгхемской преддуговой структуры в позднем венде – первой половине раннего кембрия привело к формированию V_2 фундамента преддужья и E_1^{1-2} осадочного чехла с редкими прослоями базальтов (расчленение E_1 дается по [Стратиграфический... 2006]) [Монгуш, 2016; наши неопубликованные данные]. Начиная со E_2 указанные E_1^{1-2} отложения представляют уже составную часть фундамента Хемчикско-Сыстыгхемского коллизийного прогиба.

Само наличие базальтовых прослоев в E_1^{1-2} осадочных отложениях преддугового бассейна свидетельствует о спорадическом проявлении надсубдукционного базальтового вулканизма в преддуговой зоне. Эти базальты косвенно могут указывать на аналогичную геодинамическую позицию габбро Душкуннугского массива, которые имеют такое же спорадическое распространение, близкий к базальтам возраст и одинаковое геологическое положение.

Формирование V_2 фундамента преддужья было связано с процессами заложения зоны субдукции. Фундамент преддужья развивался на базе первичной океанической коры в результате: инициального базальтового вулканизма (базальты алдынбулакской свиты, нижней подсвиты чингинской свиты), частичного замещения первичной океанической коры надсубдукционной океанической корой (супрасубдукционными офиолитами) [Монгуш, 2016]. Частичное замещение первичной океанической коры – эмпирически наблюдаемый факт, описанный в офиолитах рассматриваемой преддуговой зоны (куртушибинские офиолиты [Куренков и др., 2002]), а также в дунжугурских офиолитах Тувино-Монгольского микроконтинента и других объектах (см. [Кузьмичев, 2004] и ссылки в ней). Другими словами, офиолиты Куртушибинского хребта, образованные в зонах рассеянного спрединга и имеющие в своем составе субдукционный компонент [Куренков и др., 2002; Волкова и др., 2009], формировались в надсубдукционной обстановке в процессе частичного замещения первичной океанической коры. Со-

гласно Пирсу и его соавторам, эти офиолиты соответствуют типу супрасубдукционных офиолитов [Pearce et al., 1984]. Под инициальными базальтами понимаются первые магматические образования, сформированные на стадии инициации субдукции в результате декомпрессионного плавления мантии [Reagan et al., 2010; Dilek, Furnes, 2011; Whattam, Stern, 2011]. Геохимический состав базальтов алдынбулакской и чингинской свит, выделяемых нами в качестве инициальных базальтов, похож на составы OIB, E-MORB и N-MORB, при этом в последнем случае отмечаются отрицательные Nb аномалии на спайдерграмме [Монгуш, 2016]. Осадочный чехол преддуговой структуры слагала существенно осадочная часть алдынбулакской и чингинской свит E_1^{1-2} возраста.

Данная статья не претендует на раскрытие вопросов о мантийных источниках и геодинамической позиции габбро Душкуннугского массива. Судя по геохимическому составу этих габбро, геодинамические механизмы, ответственные за их образование, весьма нетипичны. Отметим лишь, что мантийный источник габбро Душкуннугского массива мог быть унаследован от мантийных источников инициальных базальтов так же, как могли быть унаследованы источники базальтов, образующих прослои в осадочном чехле преддужья.

Выводы

Полученные нами данные о геологическом положении, возрасте и, частично, геохимическом составе габбро свидетельствуют о том, что Душкуннугский массив по своей геодинамической позиции может представлять надсубдукционный преддуговый интрузив. Обогащенный относительно островодужных габброидов (в частности, Ирбитейского массива) химический состав габбро Душкуннугского массива обусловлен, вероятно, тем, что на рубеже венда и кембрия всё еще оставался активным, хотя и в эпизодическом масштабе, мантийный источник или источники инициальных базальтов. Результаты наших исследований можно рассматривать в контексте развития гипотезы об инициальной стадии субдукции, описанной в статьях [Reagan et al., 2010; Dilek, Furnes, 2011; Whattam, Stern, 2011].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00190).

ЛИТЕРАТУРА

- Берзин Н.А. Геодинамическая обстановка формирования кембрийских олистостром Хемчикско-Сыстыгхемской зоны Тувы // Геология и геофизика. 1987. № 1. С. 3–11.
- Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л., Зоненшайн Л.П., Сяо Сючань, Чанг Э.З. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. 1994. Т. 35, № 7–8. С. 8–28.

- Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В.** Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 1. С. 63–81.
- Волкова Н.И., Ступаков С.И., Бабин Г.А., Руднев С.Н., Монгуш А.А.** Подвижность редких элементов при субдукционном метаморфизме (на примере глаукофановых сланцев, Западный Саян) // Геохимия. 2009. Т. 47, № 4. С. 401–414.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. 2-е изд. Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXIX (Верхний Амыл). Объяснительная записка. СПб. : Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. 135 с.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Листы N-46, M-46. СПб. : ВСЕГЕИ, 2008.
- Кузьмичев А.Б.** Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы / ред. Е.В. Скляров. М. : Пробел-2000, 2004. 192 с.
- Куренков С.А., Диденко А.Н., Симонов В.А.** Геодинамика палеоспрединга. М. : ГЕОС, 2002. 294 с.
- Монгуш А.А.** Базальтовые комплексы Саяно-Тувинской преддуговой зоны: геологическое положение, геохимия, геодинамика // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования / отв. ред. д-р геол.-минер. наук В.И. Лебедев. Кызыл : ТУВИКОПР СО РАН, 2016. Вып. 14. С. 74–94.
- Монгуш А.А.** Офиолиты Западного Саяна и Западной Тувы – автохтонные комплексы Саяно-Тувинской преддуговой зоны V-С₁ островной дуги Палеоазиатского океана // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещ. Иркутск : Институт земной коры СО РАН, 2017. Вып. 15. С. 194–196.
- Монгуш А.А., Кужугет Р.В.** Возраст, состав и тектоническое положение Душкуннугского габбрового массива (Западная Тува) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы совещания. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2012. Вып. 10, т. 2. С. 25–26.
- Монгуш А.А., Лебедев В.И., Травин А.В., Ярмолюк В.В.** Офиолиты Западной Тувы – фрагменты поздневендской островной дуги Палеоазиатского океана // Доклады РАН. 2011а. Т. 438, № 6. С. 796–802.
- Монгуш А.А., Лебедев В.И., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Дружкова Е.К., Яковлева С.З., Плоткина Ю.В., Загорная Н.Ю., Травин А.В., Серов П.А.** Тектономагматическая эволюция структурно-вещественных комплексов Таннуольской зоны Тувы в позднем венде–раннем кембрии // Геология и геофизика. 2011б. Т. 52, № 5. С. 649–665.
- Стратиграфический кодекс России.** 3-е изд. СПб. : ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
- Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.** Термохронология Черноурдской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. № 11. С. 1181–1199.
- Condie K.C.** High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. V. 79. P. 491–504.
- Dilek Y., Furnes H.** Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere // Geological Society of America Bulletin. 2011. V. 123, № 3/4. P. 387–411.
- Pearce J.A., Lippard S.J., Roberts S.** Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites // Geological Society, London, Special Publications. 1984. V. 16 (1). P. 77–94.
- Preliminary publications book 1** from project on mineral resources, metallogenesis, and tectonics of Northeast Asia / ed. W.J. Nokleberg, V.V. Naumova, M.I. Kuzmin, T.V. Bounaeva. Open-File Report 99-165. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 1999 (CD).
- Reagan M.K., Ishizuka O., Stern R.J., Kelley K.A., Ohara Y., Blichert-Toft J., Bloomer S.H., Cash J., Fryer P., Hanan B.B., Hickey-Vargas R., Ishii T., Kimura J.-I., Peate D.W., Rowe M.C., Woods M.** Fore-arc basalts and subduction initiation in the Izu-Bonin-Mariana system // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2010. V. 11, № 3. doi:10.1029/2009GC002871.
- Stern R.J., Reagan M., Ishizuka O., Ohara Y., Whattam S.** To understand subduction initiation, study forearc crust: To understand forearc crust, study ophiolites // Lithosphere. 2012. № 4 (6). P. 469–483. doi: 10.1130/L183.1
- Whattam S.A., Stern R.J.** The ‘subduction initiation rule’: a key for linking ophiolites, intra-oceanic forearcs, and subduction initiation // Contrib Mineral Petrol. 2011. V. 162. P. 1031–1045.

Авторы:

Монгуш Андрей Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия.
E-mail: amongush@inbox.ru

Кужугет Ренат Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория геодинамики, магматизма и рудообразования, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия.
E-mail: rkuzhuget@mail.ru

Geosphere Research, 2017, 3, 41–49. DOI: 10.17223/25421379/4/6

A.A. Mongush, R.V. Kuzhuget

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia

SUPRASUBDUCTION FOREARC GABBRO OF THE DUUSHKUNNUG MASSIF (TUV): UNUSUAL GEOCHEMICAL COMPOSITION AND THE PROBLEM OF GEODYNAMIC INTERPRETATION

This article presents evidence in favor of the autochthonous (no accretion) nature of the Duushkunnug gabbro massif, occurring in the forearc Tuvan segment Vendian – Early Cambrian island arc system of the Altai-Sayan folded area. Also shown is an attempt to justify the geodynamic nature of these gabbros. The Duushkunnug gabbro massif represents one of the bodies of the basement highs

Khemchik-Systyghem collisional deflection, formed in place forearc structure. The size of massif is 300×130 m, it is oriented in the latitudinal direction along the axis of the anticline. A massif is protrusive body among the Silurian shales, as evidenced by the crumpled in microsludge slates in his contacts. The content of amphibole up to 10%, magmatic hornblende forms rims around grains of clinopyroxene. Most of the mafic minerals are usually replaced by actinolite and chlorite. Plagioclase of basic composition is half replaced by saussurite. The age of gabbro according to Ar-Ar dating of hornblende is 537,5±4,9 Ma. Gabbros are characterized by moderate contents TiO₂ – 1,2–1,7 wt. %, Al₂O₃ – 14 wt. %, Na₂O 2,4–2,7 wt. %, K₂O – 0,1–0,2 wt. %, P₂O₅ 0,1 wt. % moderately fractionated character of distribution of rare elements: (Th/Yb)_n = 2,5 content of REE at the level of the chondrite 30–11 units, a slight predominance of the LREE over the HREE: (La/Yb)_n = 1,9–2,1 a positive Pb anomaly and slight negative Nb anomaly on spidergram. Slight negative Nb anomaly, a positive Pb anomaly, a small predominance of LREE over HREE – all of these symptoms collectively indicate the certain number of subduction component in the mantle source of the gabbro. Along with that, by the discrimination diagrams the compositions of the gabbros fall in the field of both island arc tholeiites and E-MORB, or are intermediate between basalts of island arcs and oceanic plateaus. From gabbroids Irbiteu massif in the Tannu-Ola island arc subzone (their age 539±6 Ma years; ε_{Nd}(T) = +7,8) [Mongush et al., 2011b] they are relatively high titanium and low-alumina content, weakly pronounced negative Nb anomaly, a lower value of ε_{Nd}(T) = +5,8. Our data on the geologic position, age, and, in part, the geochemical composition of the gabbro indicate that Duushkunnug gabbro massif on its geodynamic position can be considered as supra-subduction forearc intrusive. Enriched relative to island-arc gabbroids chemical composition of gabbro of the Duushkunnug massif was probably due to the fact that at the turn of the Vendian and Cambrian were still active, albeit in small scale, mantle source or sources of the initial basalts. Under the initial basalts refers to the first igneous rocks, formed at the stage of initiation of subduction in the result of decompression melting of the mantle. The results of our research can be considered as a development of hypotheses about the initial stages of subduction, described in the articles [Reagan et al., 2010; Dilek, Furnes, 2011; Whattam, Stern, 2011].

Keywords: *Forearc, gabbro, age, geochemical composition, geodynamic position, Tuva.*

REFERENCES

- Berzin N.A. *Geodinamicheskaya obstanovka formirovaniya kembriyskikh olistostrom Khemchiksko-Sistighemskoy zony Tuvy* [The geodynamic setting of formation of the Cambrian olistostrome Khemchik-Systyghem zone of Tuva] // *Geologiya i geofizika*. 1987. № 1. pp. 3–11. In Russian
- Berzin N.A., Kolman R.G., Dobretsov N.L., Zonenshain L.P., Syao Syuchan', Chang E.Z. *Geodinamicheskaya karta zapadnoy chasti Paleoziatzskogo okeana* [Geodynamic map of the Paleasian Ocean (Western part)] // *Geologiya i geofizika*. 1994. V. 35. № 7–8. pp. 8–28. In Russian
- Berzin N.A., Kungurtsev L.V. *Geodinamicheskaya interpretatsiya geologicheskikh kompleksov Altae-Sayanskoy oblasti* [Geodynamic interpretation of Altai-Sayan geological complexes] // *Geologiya i geofizika*. 1996. T.37. № 1. pp. 63–81. In Russian
- Volkova N.I., Stupakov S.I., Rudnev S.N., Babin G.A., Mongush A.A. Mobility of trace elements during subduction metamorphism as exemplified by the blueschists of the Kurtushibinsky Range, Western Sayan // *Geochemistry International*. 2009. V. 47. № 4. pp. 380–392.
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izd. 2-e. Seriya Zapadno-Sayanskaya. List N-46-XXIX (Verkhniy Amyl). Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map Russian Federation, scale 1:200 000. Ed. 2. Series of West-Sayan. Sheet N-46-XXIX. An explanatory Memorandum] St. Petersburg: VSEGEI, 2003. 135 p. In Russian
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. Listy N-46, M-46* [State geological map of Russian Federation. The scale of 1:1,000,000 (third generation). Series of the Altai-Sayan. Leaves N-46, M-46] St. Petersburg: VSEGEI, 2008. In Russian
- Kuz'michev A.B. *Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongol'skogo massiva: rannebaykal'skiy, pozdnebaykal'skiy i rannekaledonskiy etapy* [Tectonic history of the Tuva-Mongolian Massif: Early Baykalian, Late Baykalian and Early Caledonian stages]. Ed. by E. Sklyarov. Moscow: Izdatel'stvo: Probel-2000, 2004. 192 p. In Russian
- Kurenkov S.A., Didenko A.N. and Simonov V.A. *Geodinamika paleospredinga* [Geodynamics of paleospreading]. Moscow: GEOS, 2002, 294 p. In Russian
- Mongush A.A. *Bazaltovye komplekсы Sayano-Tuvinskoy predugovoy zony: geologicheskoe polozhenie, geokhimiya, geodinamika* [Basaltic complexes of the Sayan-Tuva forearc zone: geological position, geochemistry, geodynamics] // *Sostoyanie i osvoenie prirodnikh resursov Tuvy i sopredel'nykh regionov Tsentral'noy Azii. Ekologo-ekonomicheskie problemy prirodnopol'zovaniya*: Vyp. 14. Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2016. pp. 74–94. In Russian
- Mongush A.A. *Ophiolity Zapadnogo Sayana i Zapadnoy Tuvy – avtokhtonnye komplekсы Sayano-Tuvinskoy predugovoy zony V-C1 ostrovnoy dugi Paleoziatzskogo okeana* [The ophiolites of the Western Sayan and Western Tuva – autochthonous complexes of the Sayan-Tuva forearc zone V-C₁ island arc of the Paleasian ocean] // *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvzhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshchaniya*. Vyp. 15. Irkutsk: Institut zemnoy kory SO RAN, 2017. pp. 194–196. In Russian
- Mongush A.A., Kuzhuget R.V. *Vozrast, sostav i tektonicheskoe polozhenie Duushkunnugskogo gabbrovogo massiva (Zapadnaya Tuva)* [Age, composition and tectonic setting Duushkunnug gabbro massif (Western Tuva)] // *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvzhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshchaniya*. Vyp. 10. Irkutsk: Institut zemnoy kory SO RAN, 2012. V. 2. pp. 25–26. In Russian
- Mongush A.A., Lebedev V.I., Travin A.V., Yarmolyuk V.V. Ophiolites of Western Tyva as Fragments of a Late Vendian Island Arc of the Paleasian Ocean // *Doklady Earth Sciences*. 2011. V. 438. Part 2. pp. 866–872.
- Mongush A.A., Lebedev V.I., Kovach V.P., Sal'nikova E.B., Druzhkova E.K., Yakovleva S.Z., Plotkina Yu.V., Zagornaya N.Yu., Travin A.V. and Serov P.A. The tectonomagmatic evolution of structure-lithologic complexes in the Tannu-Ola zone, Tuva, in the Late Vendian–Early Cambrian (from geochemical, Nd isotope, and geochronological data) // *Russian Geology and Geophysics*. 2011. V. 52. № 5. pp. 503–516.
- Stratigraficheskiy kodeks Rossii. Izdanie tret'e* [Stratigraphic codex of Russia. Third edition]. St-Petersburg: VSEGEI, 2006. 96 p. In Russian

Travin A.V., Yudin D.S., Vladimirov A.G., Khromykh S.V., Volkova N.I., Mekhonoshin A.S. and Kolotilina T.B. Thermochronology of the Chernorud granulite zone, Ol'khon Region, Western Baikal area // *Geochemistry International*. 2009. V. 47. № 11. pp. 1107–1124.

Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // *Lithos*. 2005. V. 79. pp. 491–504.

Dilek Y. and Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere // *Geological Society of America Bulletin*, 2011. V. 123. № 3/4. pp. 387–411.

Pearce J.A., Lippard S.J. and Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. Geological Society, London, Special Publications, 1984. 16 (1). pp. 77–94.

Preliminary publications book 1 from project on mineral resources, metallogenesis, and tectonics of Northeast Asia / Editors Warren J. Nokleberg, Vera V. Naumova, Mikhail I. Kuzmin, and Tatiana V. Bounaeva. Open-File Report 99-165. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 1999. (CD).

Reagan M.K., Ishizuka O., Stern R.J., Kelley K.A., Ohara Y., Blichert-Toft J., Bloomer S.H., Cash J., Fryer P., Hanan B.B., Hickey-Vargas R., Ishii T., Kimura J.-I., Peate D.W., Rowe M.C. and Woods M. Fore-arc basalts and subduction initiation in the Izu-Bonin-Mariana system // *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 2010. V. 11. № 3. doi:10.1029/2009GC002871

Stern R.J., Reagan M., Ishizuka O., Ohara Y., Whattam S. To understand subduction initiation, study forearc crust: To understand forearc crust, study ophiolites // *Lithosphere*. 2012. 4 (6). pp. 469–483. doi: 10.1130/L183.1

Whattam S.A., Stern R.J. The 'subduction initiation rule': a key for linking ophiolites, intra-oceanic forearcs, and subduction initiation // *Contrib Mineral Petrol*. 2011. V. 162. pp. 1031–1045.

Author's:

Mongush Anfrey A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Laboratory of Geodynamics, magmatism and ore formation, Tuvini Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: amongush@inbox.ru

Kuzhuget Renat V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, Laboratory of Geodynamics, magmatism and ore formation, Tuvini Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: rkuzhuget@mail.ru