

ний характерна для базальтов и особенно пикробазальтов, габбро-долеритов.

*Работа выполнена с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования ТГУ.*

#### Литература

1. Адылбаев Р.Р., Гринёв О.М. Петрография и минералогические особенности вулканитов трахипикробазальт-трахитовой серии саралинского грабен-рифта (Кузнецкий Алатау) / Р.Р. Адылбаев, О.М. Гринёв // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. Том 1 / Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. С. 42–44.
2. Гринев О.М., Гринёв Р.О., Богородов А.А., Адылбаев Р.Р. Геология и вещественный состав базальт-трахитовой серии раннего девона Саралинского грабена (Хакасия) // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 9 : Материалы IX Всероссийской петрографической конференции с международным участием. Томск : Изд-во «Томский ЦНТИ», 2017. С. 128–139.
3. Grinev, O., Grinev R., Adylbaev R., Bogorodov A., Saralinsky graben-devonian rift of the Kuznetsk-Minusinsk zone, Altai-Sayan folded area // Geological Tour of Devonian and Ordovician Magmatism of Kuznetsk Alatau and Minusinsk basin. Altay-Sayan Region, Siberia. 2020. pp. 43–77.
4. Grinev, O., Grinev R., Bogorodov A., Adylbaev R. Material composition of the basalt-trachyte series of the early Devonian of the Saralin graben-rift / O. Grinev, R. Grinev, A. Bogorodov, R. Adylbaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 110. pp. 1–9.
5. Grinev O.M., Vorontsov A.A., Bogorodov A.A., Adylbaev R. R., Perfilova O. Y., Grinev R.O. Morphotectonics and the evolution of plum-riftogenic magmatism of goryachegorsk volcanic plateau (Kuznetskiy Alatau) // Крупные изверженные провинции в истории земли: мантийные плюмы, суперконтиненты, климатические изменения, металлогения, формирование нефти и газа, планеты земной группы (КИП-2019). Тезисы VII международной конференции. Томск: Томский ЦНТИ, 2019. pp. 43–44.

УДК 551.21+552.2,3

## ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ ИТМУРУНДИНСКОЙ ЗОНЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА: ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, СОСТАВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ

А.В. Гурова<sup>1,2</sup>, И.Ю. Сафонова<sup>1,2</sup>, А.А. Перфилова<sup>1,2</sup>, И.А. Савинский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия, sushka386@gmail.com

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 20-77-10051.

В работе представлены данные исследования магматических пород Итмурундинского офиолитового пояса северного Прибалхашья. Проанализирован петрографический, химический и изотопный состав магматических пород данного пояса, произведен анализ возраста U-Pb методом датирования и сделаны выводы о геодинамических обстановках их формирования.

*Ключевые слова:* Центрально-Азиатский складчатый пояс, офиолиты, базальтоиды, геохимия, Палеоазиатский океан, поздний кембрий-ордовик.

The paper presents data from the igneous rocks of the Itmurunda ophiolite belt of the northern Balkhash region. We performed petrographic, whole rock chemical and isotopic analyzes and U-Pb zircon dating in order to reconstruct geodynamic settings of their formation.

*Keywords:* Central Asian Orogenic Belt, ophiolites, basalts, geochemistry, Paleo-Asian Ocean, Late Cambrian- Ordovician.

Итмурундинская или Итмурунды-Казыкская складчатая зона, включающая офиолитовый пояс и аккреционный комплекс, находится в центральной части Казахстана, в северном Прибалхашье. Она расположена в ядре Северо-Балхашского антиклинория центральной части Джунгаро-Балхашской складчатой системы. Ранее эта зона рассматривалась только как офиолитовый пояс (Паталаха, Белый, 1981), но с конца 1990-х годов она уже описывалась как аккреционный комплекс (Zhilkaidarov, 1998; Степанец, 2015) а ее образование связывалось с эволюцией Палеоазиатского океана (Зоненшайн, 1990). Более поздние геологические данные показали наличие в составе аккреционного комплекса устойчивой ассоциации пород (снизу-вверх): базальтовые пиллоу-лавы – пелагические ленточные кремни – гемипелагические кремнистые аргиллиты и алевролиты – отложения глубоководного желоба (турбидиты, граувакки) (Сафонова и др., 2019). Эти породы образуют отдельные пачки, разделенные разломами и/или надвигами. Такая ассоциация пород соответствует отложениям стратиграфии океанической плиты (СОП), а отдельные пачки – это тектонические пластины, отделившиеся от погружающейся океанической плиты. Сама модель была разработана на аккреционных комплексах Японии (Isozaki et al., 1990), а образования СОП также детально описаны на аккреционных комплексах российского Дальнего Востока (Филиппов,

Кемкин, 2007) и других складчатых поясах тихоокеанского типа (Маруяма и др., 2018).

Согласно геологической карте масштаба 1:200 000 (Геологическая, 1960), в Итмурундинской зоне выделяются три главные ассоциации пород: мантийная (офиолиты), аккреционная и посторогенная (континентальные отложения) (рис. 1). В состав аккреционной ассоциации входят образования трех свит: итмурундинской ( $O_{1-2}$ ), казыкской ( $O_{2,3}$ ) и тюретайской ( $O_3-S_1$ ), отложения которых разделены тектоническими несогласиями. Они часто присутствуют в виде блоков в серпентинитовом меланже наряду с магматическими породами офиолитовой ассоциации и надсубдукционного комплекса. По результатам U-Pb датирования циркона определен возраст роговообманкового диорита из серпентинитового меланжа, который составляет около 500 млн. лет (Safonova et al., 2020). Эти данные согласуются с U-Pb возрастными данными по циркону из плагиогранита центральной части собственно офиолитового пояса в интервале от 530 до 498 млн лет (Degtyarev et al., 2021). Итмурундинская свита сложена базальтами, яшмами/кремнями, кремнистыми алевролитами, аргиллитами и сланцами. В составе казыкской свиты преобладают яшмы/кремни, кремнистые алевролиты, аргиллиты и сланцы. Тюретайская свита представлена в основном кремнистыми алевролитами, аргиллитами и песчаниками.

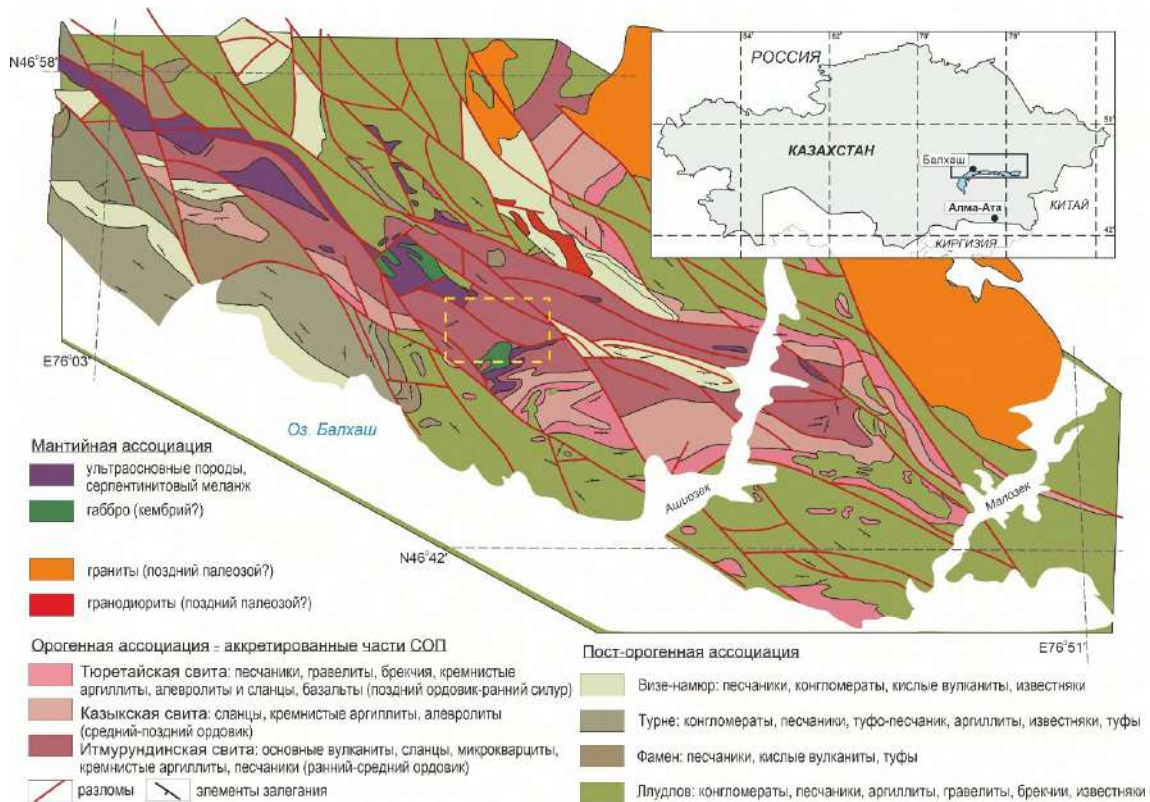


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Итмурундинской зоны северного Прибалхашья, масштаб 1:200000, серия Прибалхашская, лист L-43-XI. Рамкой показан район работ.

Нами были изучены магматические породы, которые на геологической карте показаны, как относящиеся к итмурундинской свите. Они представлены вулканическими и субвулканическими породами основного состава (базальт, долерит, габбро, диорит). В породах

преобладают субщелочные разности, также присутствуют щелочные базальты, трахиандезиты и фонотэфриты: на TAS-диаграмме  $((K_2O + Na_2O)/SiO_2)$  точки составов почти всех образцов попадают в поля базальта и базальтового андезита (рис. 2 а).

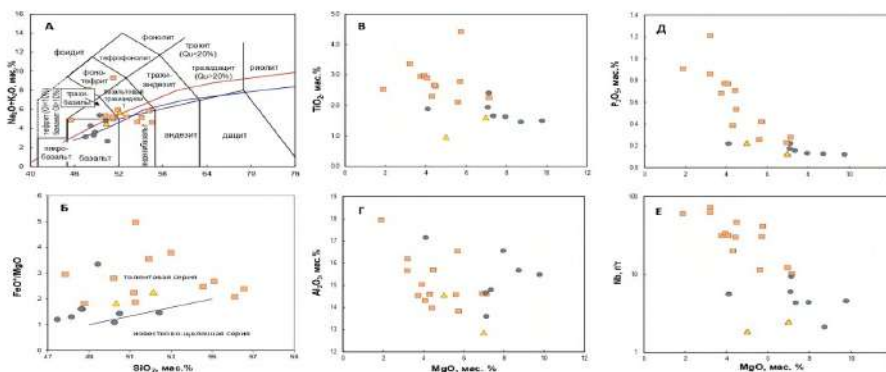


Рис. 2. А – диаграмма TAS, Б – диаграмма  $SiO_2 - FeO^*/MgO$ , В-Г – диаграммы  $MgO/$ породообразующие окислы и Nb. Квадраты – высоко-Ti, круги – средне-Ti, треугольники – низко-Ti.

Для них характерны значения  $Mg \#$  в диапазоне от 26 до 73. Содержания  $SiO_2$  варьируют в диапазоне от 44.1 до 55.1,  $CaO = 4.9-16.9$  и  $Al_2O_3 = 12.9-17.9$  мас.% (рис. 2 г). Поскольку при увеличении  $SiO_2$  растет и отношение  $FeO^*/MgO$ , то изученные вулканыты, вероятно, относятся к толеитовой серии. Большинство образцов образуют похожие тренды также и на бинарных диаграммах  $MgO$  - породообразующие окислы (рис. 2 б). По совокупности признаков исследуемые образцы можно разделить на три группы: высоко-Ti ( $TiO_2 > 1.9$  мас.%), средне-Ti ( $TiO_2 = 1.4-1.7$  мас.%) и низко-Ti ( $TiO_2 < 1$  мас.%) (рис. 2 в).

Низко-Ti образцы характеризуются более низкими концентрациями La, Sm, Zr, Nb и Th, и двумя уровнями отношений  $Zr/Nb$  – 18 и 34, что предполагает разные условия магмагенерации и/или разный состав мантийных источников. Высоко-Ti образцы характеризуются более низкими  $Zr/Nb$  (в среднем 9.8), чем образцы со средним содержанием  $TiO_2$  (25). Породы 3-х групп в разной степени обогащены легкими редкоземельными элементами или LREE ( $La/N_{pr} = 122, 23$  и 2), давая обогащенные, деплетированные и плоские спектры REE, нормированные по хондриту, соответственно (рис. 3). Породы высоко-Ti группы ассоциируют с вулканокластическими и осадочными породами. Они обогащены La, Nb, Th и Zr по сравнению с группами 2 и 3, давая  $(La/Yb)N = 1.1-3.6$ ,  $(Gd/Yb)N = 1.3-3.2$ ,  $(Nb/La)_{pm} = 1.2$  и  $Zr/Nb=9.8$ . По данными изотопии неодима базальтоиды высоко-Ti группы образовались из обога-

щенного мантийного источника ( $\epsilon Nd$  варьирует от -4.3 до -8.8) (рис. 3, 4а). Такие вещественные характеристики типичны для базальтов океанических островов типа Гавайской цепи вулканов (ОИВ). Средне-Ti базальты ассоциируют с глубоководными кремнями и характеризуются  $Zr/Nb = 25$ ;  $(La/Yb)N = 0.8-1.0$ ;  $(Gd/Yb)N = 1.1-1.3$ ;  $(Nb/La)_{pm} = 1.0$  и высокими значениями  $\epsilon Nd$  (4.7-7.7) (рис. 3, 4а). Для вулканытов низко-Ti группы (ассоциируют с песчаниками) характерны высокие отношения  $Zr/Nb$  (18-34),  $(La/Yb)N = 0.4-1.4$ ;  $(Gd/Yb)N = 0.6-1.7$ , минимумы по Nb на мульти-компонентных диаграммах, нормированных по примитивной мантии, и также положительные значения  $\epsilon Nd=4.9-9.2$  (рис. 3, 4а).

С точки зрения мантийных источников на диаграмме  $Gd/YbN - Al_2O_3/TiO_2$  высоко-Ti образцы с отрицательными значениями  $\epsilon Nd$  также попадают в поле Гавайских ОИВ (рис. 4а, б). Это предполагает их происхождение из обогащенной мантии, т.е. из источника, отличающегося от такового, давшего средне- и низко-Ti породы. Для последних характерны положительные значения  $\epsilon Nd$ , т.е. они выплавлялись из ювенильного источника близкого по составу к деплетированной мантии (рис. 4 б). Таким образом, высоко-Ti разности по вещественному и изотопному составу близки к базальтам типа ОИВ. Средне-Ti базальты по составу схожи с базальтами срединно-океанических хребтов (MORB). Низко-Ti породы имеют состав, предполагающий их образование в надсубдукционных обстановках.

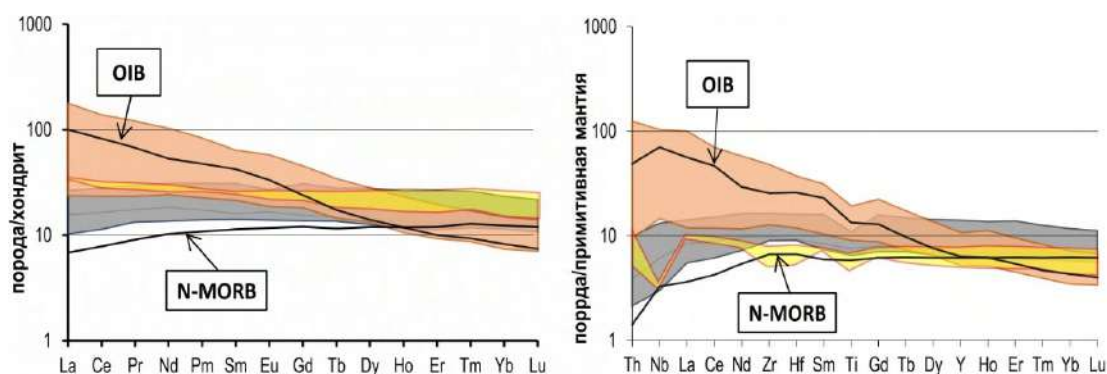


Рис. 3. Нормированные по хондриту кривые распределения редкоземельных элементов и нормированные по примитивной мантии мультикомпонентные диаграммы для базальтоидов Итмурундинского офиолитового пояса. Данные для MORB, OIB, примитивной мантии и хондрита взяты из (Sun, McDonough, 1989). Рыжая область – высоко-Ti; серая область – средне Ti; жёлтая область – низко-Ti.

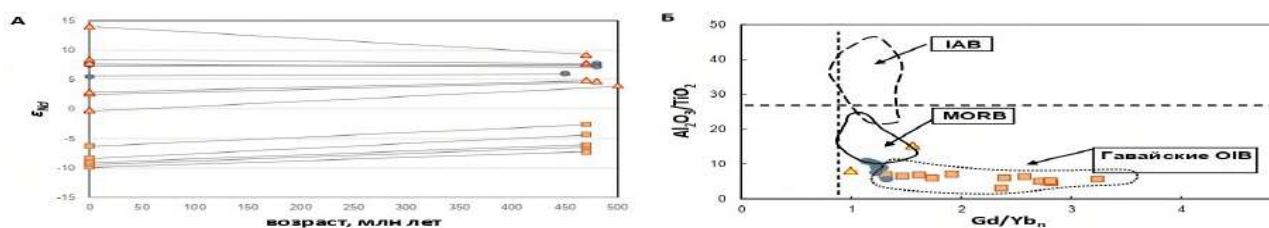


Рис. 4. А - график  $\epsilon Nd(t)$  – возраст для вулканических и субвулканических пород Итмурундинского офиолитового пояса. Б - диаграмма  $Al_2O_3/TiO_2$  -  $Gd/Yb_N$  для пород Итмурундинского офиолитового комплекса, показывающий различные мантийные источники и обстановки формирования. Условные обозначения как на рис. 2.

По представленным геологическим и геохимическим данным сделан вывод, что Итмурундинский офиолитовый пояс Центрального Казахстана представляет собой ороген тихоокеанского типа, в состав которого входят магматические породы, образованные в геодинамических обстановках островной дуги, океанического острова/симаунта/плато и срединно-океанического хребта.

#### Литература

1. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Серия Прибалхашская. Лист L-43-XI / Сост. В.Я. Кошкин, В.В. Галицкий. Южно-Казахстанское геологическое управление Министерства геологии и охраны недр СССР, 1960.
2. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит СССР. Т. I. М.: Недра, 1990. 328 с.
3. Маруяма Ш., Сафонова И.Ю., Туркина О.М., Кривоногов С.К., Гурова А.В. Геология и магматизм конвергентных окраин тихоокеанского типа / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. 96 с.
4. Паталаха Е.И., Белый В.А. Офиолиты Итмуруды-Казыкской зоны // Офиолиты. Алма-Ата, 1981. С. 7–102.
5. Сафонова И.Ю., Перфилова А.А., Обут О.Т., Савинский И.А., Чёрный Р.И., Петренко Н.А., Гуро-

ва А.В., Котлер П.Д., Хромых С.В., Кривоногов С.К., Маруяма Ш. Итмурундинский аккреционный комплекс (северное Прибалхашье): геологическое строение, стратиграфия и тектоническое происхождение // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38. № 3. С. 102–117.

6. Филиппов А.Н., Кемкин И.В. Кремнисто-глинистые отложения юрской аккреционной призмы хр. Хехцир, Сихотэ-Алинь: стратиграфия и генезис // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, № 1. С. 51–69.
7. Ханчук А.И., Кемкин И.В. Геодинамическая эволюция Япономорского региона в мезозое // Вестн. ДВО РАН. 2003. № 6. С. 94–108.
8. Degtyarev K. E., Luchitskaya M. V., Tretyakov A. A., Pilitsyna A. V., Yakubchuk A. S. Early Paleozoic suprasubduction complexes of the North Balkhash ophiolite zone (Central Kazakhstan): Geochronology, geochemistry and implications for tectonic evolution of the Junggar-Balkhash Ocean // Lithos. 2021. V. 380–381. P. 105818.
9. Safonova I., Savinskiy I., Perfilova A., Gurova A., Maruyama S., Tsujimori T. The Itmurundy Pacific-type orogenic belt in northern Balkhash, central Kazakhstan: Revisited plus first U-Pb age, geochemical and Nd isotope data from igneous rocks // Gondwana Research. 2020. V. 79. pp. 49–69.
10. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic

systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // In: Saunders A.D., Norry M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London, Special Publication.

1989. V. 42. pp. 313–345.

11. Zhylkaidarov A.M. Conodonts from Ordovician of Central Kazakhstan // *Acta Paleontologica Polonica*. 1998. V. 43. No 1. pp. 53–68.

УДК 552.11; 550.42

## ПРОЯВЛЕНИЯ КОНТРАСТНОГО МАГМАТИЗМА В РАННЕМ И ПОЗДНЕМ ПАЛЕОЗОЕ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КААХЕМСКОГО МАГМАТИЧЕСКОГО АРЕАЛА (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

И.В. Кармышева<sup>1</sup>, В.А. Яковлев<sup>1</sup>, Д.В. Семенова<sup>1</sup>, А.М. Сугоракова<sup>2</sup>, С.Н. Руднев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия, [iri@igm.nsc.ru](mailto:iri@igm.nsc.ru)

<sup>2</sup>Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия

Исследование выполнено по государственному заданию ИГМ СО РАН.

В данной работе рассматриваются варианты взаимодействия контрастных по составу расплавов с образованием различных минглинг-структур на примере магматических комплексов Каахемского ареала (Восточная Тува). По результатам геохронологических и петролого-структурных исследований были выделены четыре типа взаимодействия габбро-гранитных расплавов, проявленных в два временных этапа: 477–450 млн лет и 282–293 млн лет.

*Ключевые слова:* минглинг, комбинированные дайки, мафические включения, раннепермский магматизм, ордовикский магматизм, Каахемский ареал.

In this paper, we consider variants of interaction of melts with contrasting composition with the mingling formation on the example of magmatic complexes of the Kaakhem area (Eastern Tuva). Based on the results of geochronological and petrological-structural studies, four types of interaction of gabbro-granite melts were identified, manifested in two time stages: 477–450 Ma and 282–293 Ma.

*Keywords:* mingling, composite dykes, mafic enclave, Early Permian magmatism, Ordovician magmatism, Kaakhem batholith.

Вопрос смешения контрастных по составу расплавов неоднократно рассматривался в открытой печати (см. обзор в Литвиновский и др., 1995; Wiebe, 1973; Furman, Spera, 1985; Didier, Barbarin, 1991; Скляр, Федоровский, 2006; и др.) и является одним из аспектов проблемы корово-мантийного взаимодействия и эволюции базитовых и кислых магм на различных уровнях земной коры. Разными авторами на основании экспериментальных данных, полевых исследований структурно-текстурных особенностей минглинг-структур, изучении составов мафических и салических расплавов, вариаций температуры, давления, вязкости, флюидонасыщенности магм и длительности процессов были предложены несколько механизмов смешения расплавов (Furman, Spera, 1985; Sparks, Marshall, 1986; Huppert, Sparks, 1988; и др.).

В данной работе на примере Каахемского магматического ареала (Восточная Тува) рассматриваются варианты взаимодействия контрастных по составу магм, проявившиеся на разных временных рубежах его становления. Результаты работ предыдущих лет установили несомненную связь габброидного и гранитного магматизма (см. обзоры в Руднев и др., 2006;

Руднев и др., 2015; Сугоракова, Хертек, 2017). Тесная пространственно-временная ассоциация контрастных по составу магматических пород часто выражается в формировании геологических тел со сложными контактовыми взаимоотношениями и текстурными характеристиками, часто осложненными наложенными или синмагматическими тектоническими деформациями.

Комбинированные дайки, являющиеся классическим примером взаимодействия основных и кислых магм, исследованы в районе слияния рек Кызыл-Хем и Балыктыг-Хем (Кармышева и др., 2020), где они образуют рои с расстоянием от 1–2 м и более друг от друга. В строении даек преобладают диориты, слагающие центральные зоны; доля гранитов, преимущественно сконцентрированных в краевых частях даек, не превышает 40 %. В центральных зонах крупные (до 2 м) и более мелкие (до нескольких см) округлые тела диоритов «сцементированные» породами кислого состава. Контакты между породами фестончатые, лопастевидные и пламенивидные, что указывает на одновременную консолидацию контрастных магм в дайках.

Результаты U-Pb изотопного датирования цирконов из гранитов комбинированных даек указывают на кон-