

ев Д.А. Раннекембрийский бимодальный магматизм на северо-востоке сибирского кратона // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. N 1. С. 199–224.

3. Khudoley A.K., Prokopiev A.V., Chamberlain K.R., Ernst R.E., Jowitt S.M., Malyshev S.V., Zaitsev A.I., Kropachev A.P., Koroleva O.V. Early Paleozoic mafic magmatic events on the eastern margin of the Siberian Craton // Lithos. 2012, Vol. 174. P. 44–56.

4. Sun W., McDonough W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. Vol. 42. P.83–97.

5. Irvine T., Baragar W. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks // Canadian Journal of Earth Sciences. 1971. Vol. 8. P. 523–548.

6. Gale A., Dalton C., Langmuir C. et al. The mean composition of ocean ridge basalts // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2013. Vol. 14. P. 489–518.

**А.П. Перфилова^{1,2}, И.Ю. Сафонова^{1,2}, Г.С. Бискэ³,
Д.Л. Конопелько³, В.П. Ковач⁴, Р.Т. Орозбаев⁵**

Геологическое положение и вещественный состав терригенных пород Алайского хребта (Киргизия, Южный Тянь-Шань)

Изучение структуры Южного Тянь-Шаня Киргизии началось ещё в 30-е гг. прошлого века [5]. Южный Тянь-Шань (ЮТШ) является частью Южно-Ферганской синформы и относится к южному сегменту Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) – крупнейшего фанерозойского орогена, эволюция которого продолжалась более 800 млн лет. Формирование ЮТШ происходило в конце палеозоя в результате коллизии Казахстанского палеоконтинента на севере и Каракум-Таджикского и Таримского кратонов на юге. В строении ЮТШ принято выделять два сегмента, имеющих разное происхождение. К северному сегменту относится Букантау-Кокшаальский пояс/складчатая зона с южной вергентностью,

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Институт геологии им. М.М. Адышева НАН КР, Бишкек, Киргизия

к южному сегменту – Зеравшано-Восточно-Алайский пояс с северной vergentностью. Основную роль в строении ЮТШ принимают осадочные породы: карбонаты, склоновые терригенные и карбонатные турбидиты, пелагические кремни и глинистые отложения. В подчинённом количестве представлены офиолиты, вулканиты внутриплитные и островодужные и метаморфические породы [1].

В состав Букантау-Кокшаальского пояса входят структуры аккреционного пояса Алайского хребта. Образование этих структур, относящихся к герцинской складчатой области ЮТШ, связывают с развитием Туркестанской ветви Палеоазиатского океана [10]. В пределах Алайского аккреционного пояса были диагностированы магматические породы основного–среднего состава (базальты, андезиты), кремни, кремнистые алевролиты, аргиллиты и сланцы, песчаники и гравелиты. Возраст осадочных пород определён главным образом по палеонтологическим данным [1, 3, 6, 7]. Однако вопрос о нижней границе начала осадконакопления и характере источников сноса терригенных пород (песчаников) до сих пор остаётся недостаточно изученным из-за нехватки в первую очередь данных изотопно-геохимических и геохронологических исследований.

Нами были изучены терригенные породы, отобранные с четырех участков. Исходя из анализа геологических карт (листы К-43-XXXI, К-43-XXXII) [2, 4] терригенные породы с участков Араван, Пулгон и Кызыл-Кия относятся к пульгонской (S_{1-2}), араванской (D_{1-2}), намаздыкской (D_{1-2}) и актерекской (C_{2at}) свитам. На участке Гульча образцы отобраны из чонкойской (C_1) свиты и нерасчлененной толщи $S_{1v}-D_1$. Эти породы представляют собой плохосортированные, мелко-среднезернистые песчаники серого цвета. Массивные выходы песчаников, как правило, находятся в ассоциации с кремнями, кремнистыми аргиллитами и алевролитами, реже с вулканическими породами и известняками. Песчаники состоят преимущественно из обломков вулканических и осадочных пород (30–40%) и полевых шпатов (20–35%), соответствуя полевошпат-кварцевым и кварц-полевошпатовым грауваккам по классификации [8].

Содержание большинства породообразующих окислов варьирует в широких диапазонах: $SiO_2 = 46.2-71.4$, $TiO_2 = 0.18-1.52$, $Al_2O_3 = 6.59-19.11$, $Fe_2O_3 = 3.87-9.12$, $MgO = 1.65-6.71$ мас.%. На классификационной диаграмме [12] (рис. 1а) точки составов исследуемых пород расположены в поле граувакк, реже – в поле литаренитов. Индекс CIA изменяется в широком интервале от 47.4 до 72.4, что говорит о низкой степени выветривания. Индекс ICV варьирует в диапазоне от 0.9 до 2.6, что соответствует незрелым осадкам. Значения $ICV > 1$ указывают на присутствие обломков плагиоклаза, калиевого полевого шпата, амфиболов, пироксенов и пород. Более зрелые породы, состоящие в основном из глинистых минералов, имеют значение $ICV < 1$. Для образца DZH-4 пульгонской

свиты (?) (участок Гульча, S_{1V-D_1}) характерны повышенные содержания $MgO = 15.8$ мас.% и $CaO = 13.3$ мас.%. В образце KGZ-09-18 пульгонской свиты (участок Араван, S_{1-2}) отмечается повышенное содержание $Fe_2O_3 = 16.25$ мас.%. Содержания некоторых петрохимических модулей имеют повышенные значения: железистый (ЖМ) = 0.59–2.33, титановый (ТМ) = 0.03–0.12, фемический (ФМ) = 0.09–0.75.

Песчаники характеризуются фракционированным распределением РЗЭ с обогащением легкими лантаноидами ($La/Yb_N = 0.9–1.2$, $La/Sm_N = 0.9–4.7$) и фракционированным распределением тяжелых РЗЭ ($Gd/Yb_N = 1.0–2.2$). Распределение редких элементов характеризуется минимумом по Ta и Nb ($Nb/La_{pm} = 0.2–0.8$, $Ta/La_{pm} = 0.3–0.8$, $Nb/Th_{pm} = 0.1–1.1$, $Ta/Th_{pm} = 0.1–1.1$). Песчаники Алайского аккреционного пояса обладают содержаниями редких элементов в целом ниже уровня PAAS, но характеризуются схожим характером их распределения. Значения Eu/Eu^* для песчаников выше, чем для PAAS (0.6–0.9 и 0.6 соответственно).

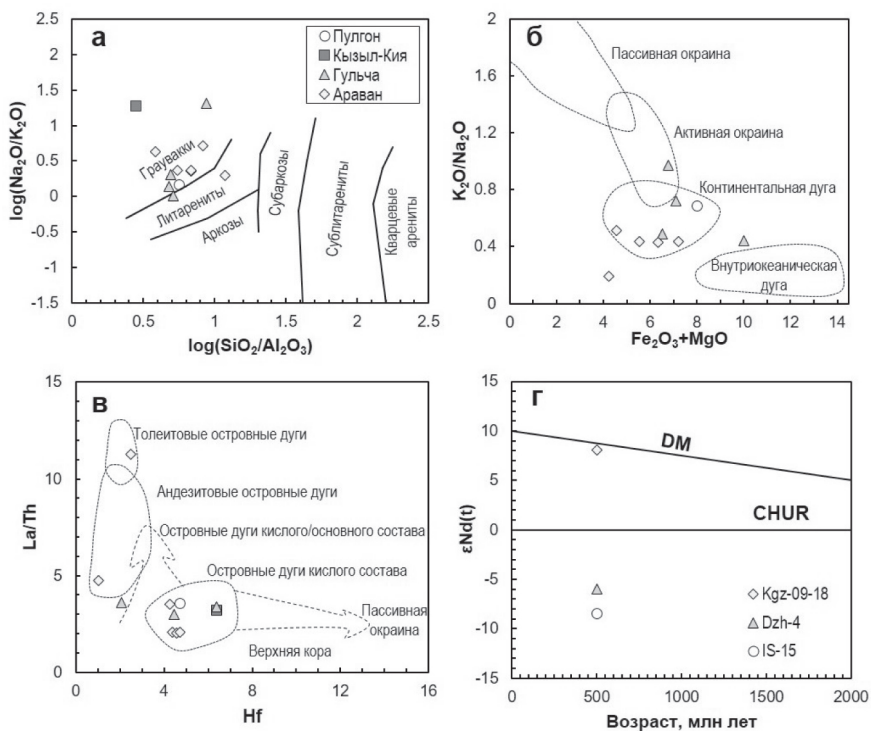


Рис. 1. Классификационная диаграмма [13] (а), дискриминантные диаграммы [9, 11] (б, в) и график $\epsilon Nd(t)$ –T (г)

На дискриминантной диаграмме $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}-\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ [9] (рис. 1б) точки составов попадают в области континентальных дуг и активной континентальной окраины. На графике $\text{Hf}-\text{La}/\text{Th}$ [11] (рис. 1в) точки составов песчаников попадают преимущественно в области размыва островных дуг кислого состава. Единичные отметки отмечаются в полях толеитовых и андезитовых островных дуг, а также островных дуг кислого/основного состава. Величины $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ были рассчитаны для позднекембрийского возраста (500 млн лет) на основе биостратиграфических данных. Для образца IS-15, отобранного из араванской свиты (участок Кызыл-Кия, $D_{1,2}$), и образца DZH-4 получены отрицательные значения $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ равные -8.5 и -6 (рис. 1г). Положительное значение $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = +8.1$ получено для образца Kgz-09-18 (рис. 1г).

Таким образом, изученные песчаники, ассоциирующие с вулканическими и осадочными породами океанического происхождения, по петрографическому и геохимическому составу относятся к грауваккам и литаренитам. Петрохимические и геохимические характеристики позволяют рассматривать изученные породы как незрелые слабыветрелые осадки и указывают на присутствие в области сноса магматических пород преимущественно среднего-кислого состава. Различные величины $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ в образцах с участков Араван (положительное) и Гульча-Кызыл-Кия (отрицательные) предполагает различный состав пород в области сноса и их различные источники – с участием как ювенильного, так и древнего рециклированного материала. Совокупность полученных данных позволяет предположить, что изученные граувакковые песчаники, вероятно образовались в результате разрушения как минимум двух различных магматических дуг.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-35-90091).

Литература

1. Бискэ Ю.С. Палеозойская структура и история Южного Тянь-Шаня. С.-Пб: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 1996. 190 с.
2. Геологическая карта СССР, Алай-Кокшаальская серия, Гульча. Масштаб 1:200000. Авторы: Г.С. Бискэ, С.Е. Зубцов. Редактор: В.Л. Клишевич. 1985.
3. Джэнчураева Р.Д., Пак Н.Т., Ивлева Е.А., Мезгин И.А., Усманов И.А. Металлогения углеродистых отложений Тянь-Шаня. Бишкек: Изд-во «ИЛИМ», 2015. 203 с.
4. Карта полезных ископаемых СССР, Алай-Кокшаальская серия, Ош. Масштаб 1:200 000. Авторы: Г.С. Бискэ, Л.В. Григорьева. Редактор: В.Л. Клишевич. 1985.
5. Николаев В.А. О важнейшей структурной линии Тянь-Шаня // Записки ВМО. Вторая серия. 1933. Ч. 62. Вып. 2.

6. Осмонбетов К.О., Кнауф В.И., Королев В.Т. Стратифицированные и интрузивные образования Киргизии. Фрунзе: Илим, 1982. Т. 1. 357 с. Т. 2. 245 с.
7. Шаякубов Т., Далимов Т. Вулканизм Западного Тянь-Шаня. Ташкент: ФАН, 1988. 328 с.
8. Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–103.
9. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. № 91. P. 611–627.
10. Biske Y.S., Alexeiev D.V., Ershova V.B., Priyatkina N S., DuFrane S.A., Khudoley A.K. Detrital zircon U Pb geochronology of middle Paleozoic sandstones from the South Tianshan (Kyrgyzstan): Implications for provenance and tectonic evolution of the Turkestan Ocean // Gondwana Research. 2019. № 75. P. 97–117.
11. Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environments of the Devonian mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. 1987. № 144. P. 531–542.
12. Herron M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sedim. Petrol. 1988. № 58. P. 820–829.
13. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. Sand and sandstone. Springer-Verlag, Berlin, 1972. 628 p.

А.Л. Перчук^{1,2}, Т.В. Геря³, В.С. Захаров¹

Влияние деплетированной мантии на стиль субдукции на разных стадиях развития Земли: результаты петролого-термомеханического моделирования

Частичное плавление перидотитов в зонах срединга – глобальный процесс, в ходе которого формируется океаническая кора и тугоплавкие деплетированные перидотиты (реститы) мантии, имеющие положительную плавучесть. В современной Земле реститы находятся в составе океанической литосферы, однако на ранних стадиях развития Земли (архей, палеопротерозой) их мощность в 2–3 раза превышала мощность литосферы (рис. 1), во многом определяя поведение плит в зонах субдукции.

¹ Геологический факультет МГУ, Москва, Россия

² Институт экспериментальной минералогии России РАН, Черноголовка, Россия

³ Швейцарский федеральный технологический институт, Отделение наук о Земле, Цюрих, Швейцария