

ВАРИАЦИИ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cr/Sc И Ni/Co В ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОДАХ ВЕРХНЕГО ДОКЕМБРИЯ ЮЖНОГО УРАЛА

© 2020 г. А. В. Маслов

В статье рассмотрены особенности вариаций средних значений $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cr/Sc и Ni/Co в тонкозернистых обломочных породах (глинистых сланцах, аргиллитах и мелкозернистых глинистых алевролитах) различных свит и подсвит верхнего докембрия Южного Урала. Проанализированы изменения названных индикаторных отношений в глинистых породах, залегающих ниже и выше разномасштабных перерывов, присутствующих в типовом разрезе рифея и ашинской серии венда. Сопоставлены представления о составе субстратов-источников тонкой алюмосиликластики, полученные с использованием разных подходов.

В 2019 г. в журнале *Geochimica et Cosmochimica Acta* опубликована статья, в которой рассматривается все еще дискуссионный вопрос об изменении «химического» и «литологического» состава континентов/основных источников сноса с течением времени [Greber, Dauphas, 2019]. Авторы использовали анализ величин индикаторных отношений, являющихся показателями присутствия в источниках сноса коматиитов, а также основных и кислых магматических пород. В результате исследований показано, что средние величины отношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ в тонкозернистых терригенных отложениях постепенно снижаются с течением времени от 26.2 ± 1.3 в архее до 22.1 ± 1.1 в фанерозое. Выполненный авторами расчет баланса масс позволил установить, что геохимические особенности ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Zr/TiO_2 , La/Sc , Th/Sc , Ni/Co и Cr/Sc) фанерозойских тонкозернистых образований лучше всего соответствуют присутствию на поверхности континентов 76 ± 8 мас. % кислых изверженных пород, 14 ± 6 мас. % островодужных и 10 ± 2 мас. % внутриплитных (преимущественно в виде платобазальтов) базальтов. Для палеоархея соотношения магматических образований в областях размыва несколько иные, а именно 65 ± 7 мас. % кислых, 25 ± 6 – основных, 11 ± 3 мас. % ультраосновных (по-видимому, в виде коматиитов) пород. Наличие значительного объема кислых магматических пород на (1) поверхности континентов, вытекающее из геохимических характеристик осадочных пород, а также в (2) средней части коры, как это видно по составу магматических комплексов, представленных в пределах палеоархейских кратонов, позволило авторам указанной работы предположить, что связанный с субдукцией магматизм появился ранее 3.25 млрд лет назад.

Несмотря на то что статья [Greber, Dauphas, 2019] сама по себе представляет большой интерес, нам в ней показалось важным, что, во-первых, ее авторами подчеркнуто возрастающее в последние годы внимание исследователей к вопросам взаимо-

действия мантии, континентальной коры и приповерхностных обстановок/осадочных образований, во-вторых, ключевыми геологическими объектами, которые являются индикаторами эволюции, с течением времени состава указанных резервуаров продолжают оставаться, как и 10, 20, 30 лет назад, тонкозернистые обломочные породы (глины, аргиллиты, глинистые сланцы, мелкозернистые глинистые алевролиты).

Наиболее часто используемыми для оценки общего состава континентальной коры являются, как известно, такие индикаторные отношения редких и рассеянных элементов, как La/Sc , Th/Sc , Th/Co , Ni/Co , Cr/Zn , Th/Cr , La/Cr и Cr/U [Taylor, McLennan, 1985; Condie, 1993; Tang et al., 2016; Smit, Mezger, 2017; и др.]. В цитированной выше работе авторы опирались на обширные (обобщены результаты, приведенные в 63 публикациях) данные по изменению с течением времени в тонкозернистых обломочных породах иных, нежели перечислены нами, индикаторных отношений, а именно $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Zr/TiO_2 , Cr/Sc и Ni/Co . В результате установлено, что для интервала времени 3.3–0.0 млрд лет значения названных индикаторных отношений в глинистых породах отчетливо снижаются (рис. 1), а для интервала 1.8–0.5 млрд лет (т. е. для рифея и венда) какие-либо отчетливые тенденции не наблюдаются. Возможно, в какой-то мере нивелирующим фактором здесь выступает сам способ построения обобщающих кривых, предполагающий суммирование большого массива аналитических данных, полученных по осадочным последовательностям, накапливавшимся в самых разных палеогеодинамических, палеоклиматических и палеогеографических обстановках за счет разных по составу питающих провинций.

С учетом сказанного мы рассмотрели вариации средних для тонкозернистых обломочных пород ряда свит и подсвит верхнедокембрийского разреза западного склона Южного Урала значений $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cr/Sc и Ni/Co . На протяжении преобла-

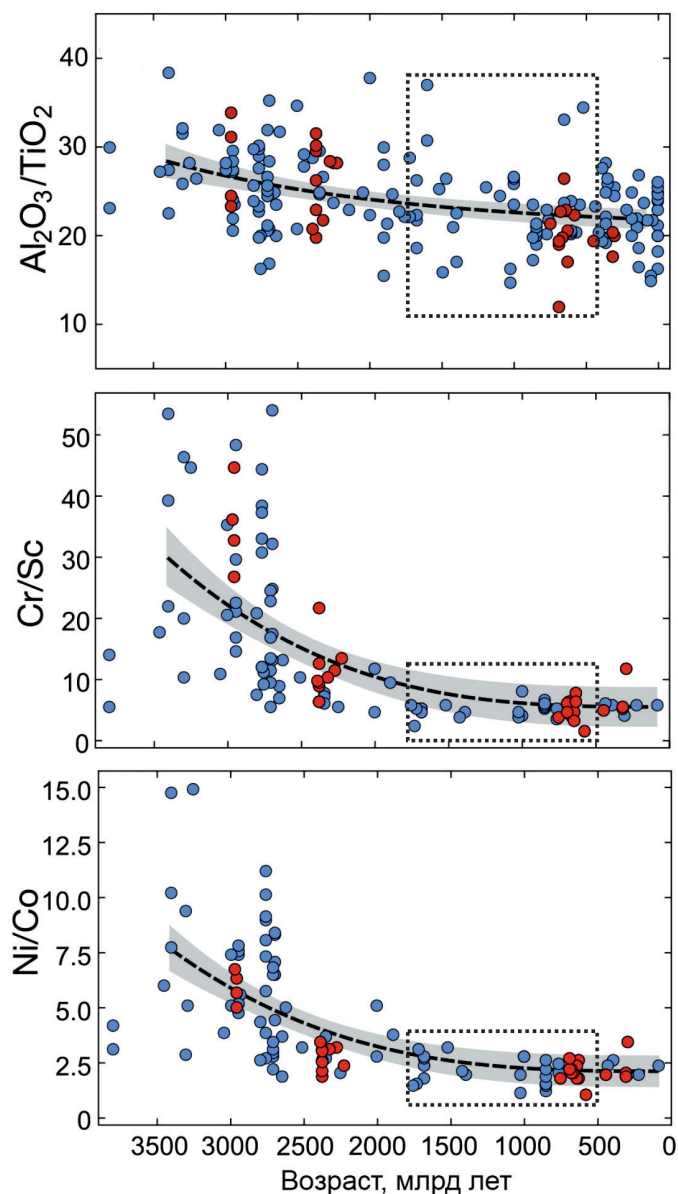


Рис. 1. Вариации средних величин $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cr/Sc и Ni/Co в тонкозернистых обломочных породах с течением времени [Greber, Dauphas, 2019].

Красные кружки – диамиктиты, голубые – остальные породы. Серые интервалы вдоль линий регрессии – 95% доверительные интервалы. Прямоугольник – верхнедокембрийский интервал.

дающей части своей истории эти отложения формировались за счет одной питающей провинции, располагавшейся на востоке Восточно-Европейской платформы, и примерно в одинаковых палеоклиматических обстановках [Маслов и др., 2016, 2018]. Следовательно, можно предполагать, что полученные для указанного разреза данные будут более представительными, чем те, что положены в основу построения обобщающих кривых, созданных из большого числа данных для объектов, форми-

ровавшихся в различных, часто довольно контрастных, обстановках. Для сравнения были привлечены также данные о величинах названных индикаторных соотношений в основных (известково-щелочные базальты) и кислых (гранитоиды) изверженных породах архея и протерозоя, приведенные в публикации [Condie, 1993].

По данным [Condie, 1993], значения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ в гранитоидах архея и протерозоя равны 59.20 и 48.21; для базальтов позднего архея этот параметр составляет 15.46, базальтов раннего и среднего протерозоя – соответственно 10.77 и 10.33. Величины отношения Cr/Sc для кислых изверженных пород архея и протерозоя равны 4.00 и 3.60. Для базальтов позднего архея этот параметр равен 11.60, тогда как базальты раннего и среднего протерозоя характеризуются заметно меньшими величинами данного отношения (4.55 и 4.27). В целом существенного разрыва между значениями Cr/Sc для основных и кислых магматических пород не наблюдается. Наконец, величина Ni/Co для кислых магматических пород архея и протерозоя составляет 3.43 и 2.73, а для базальтов – 3.31, 2.40 и 1.90 соответственно. В отличие от параметра Cr/Sc для отношения Ni/Co вообще свойственно примерно 40%-е перекрытие интервалов его величин [Condie, 1993], характерных для кислых и основных магматических пород.

Первое, что можно констатировать, обращаясь к рассмотрению особенностей изменения средних для свит и подсвит верхнего докембрия Южного Урала значений $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, Cr/Sc и Ni/Co , это действительно примерное постоянство их величин на протяжении интервала длительностью ~1200 млн лет (1750–540 млн лет). При этом средние значения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ позволяют предполагать, что в составе питающих провинций присутствовали как кислые, так и основные магматические породы и, вероятно, доля последних была довольно существенной. Средние величины параметров Cr/Sc и Ni/Co вообще в большинстве случаев также отвечают значениям названных индикаторных соотношений, характерным для основных магматических пород.

Если обратиться к рассмотрению особенностей изменения всех трех индикаторных соотношений до многочисленных разномасштабных перерывов, присутствующих в типовом разрезе рифея и среди осадочных последовательностей ашинской серии венда, и после них, то мы увидим довольно разнонаправленные тенденции. Так, выше предсреднерифейского/предмашакского перерыва средние значения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ в целом ниже, чем они были свойственны тонкозернистым обломочным породам айской и саткинской, а также в какой-то мере бакальской свит бурзяния (рис. 2а), т. е. можно предполагать, что состав пород на палеоводосборах во время этого перерыва стал «более основным».

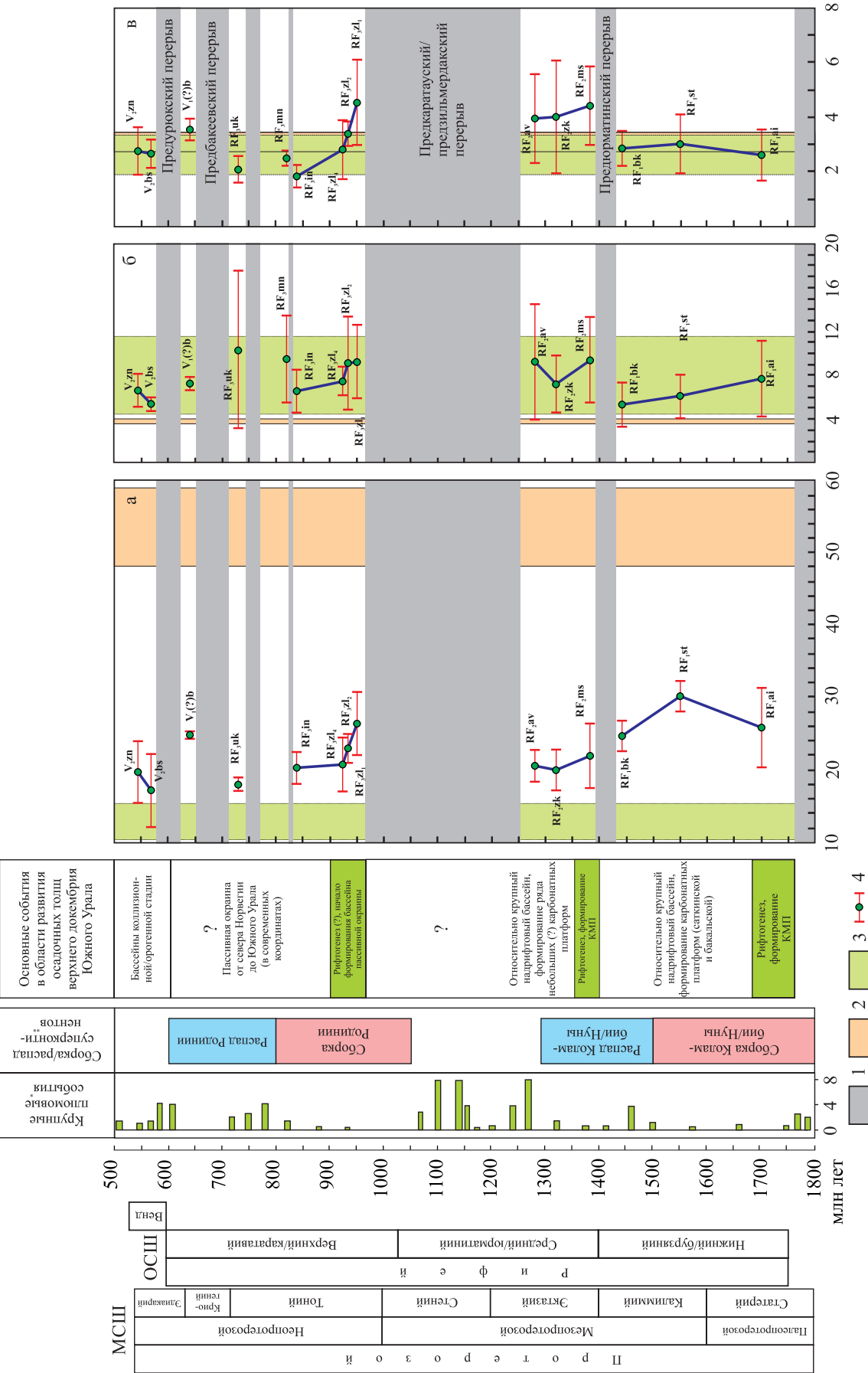


Рис. 2. Вариации средних величин Al_2O_3/TiO_2 (а), Cr/Sc (б) и Ni/Co (в) для тонкозернистых обломочных пород рифея и венда западного склона Южного Урала. Серый фон – перерывы, интервалы, показанные «лунной зеленью», – значения индикаторных обломочных пород рифея и венда западного склона Южного Урала. Интервалы «песочного» цвета – то же для пород кислого состава. Свиты и подсвиты: RF_{ai} – айская, RF_{st} – сагкинская, RF_{bk} – бакальская, RF_{ms} – машакская, RF_{zk} – зигазно-комаровская, RF_{av} – авзянская, RF_{zl} – бирьянская, RF_{3zl} – нугушская, RF_{3zl} – бедершинская, RF_{3in} – инзерская, RF_{3mn} – миньярская, RF_{3uk} – укская, V(?)bk – бакеевская, V_{2bs} – басинская, V_{2zn} – зиганская.

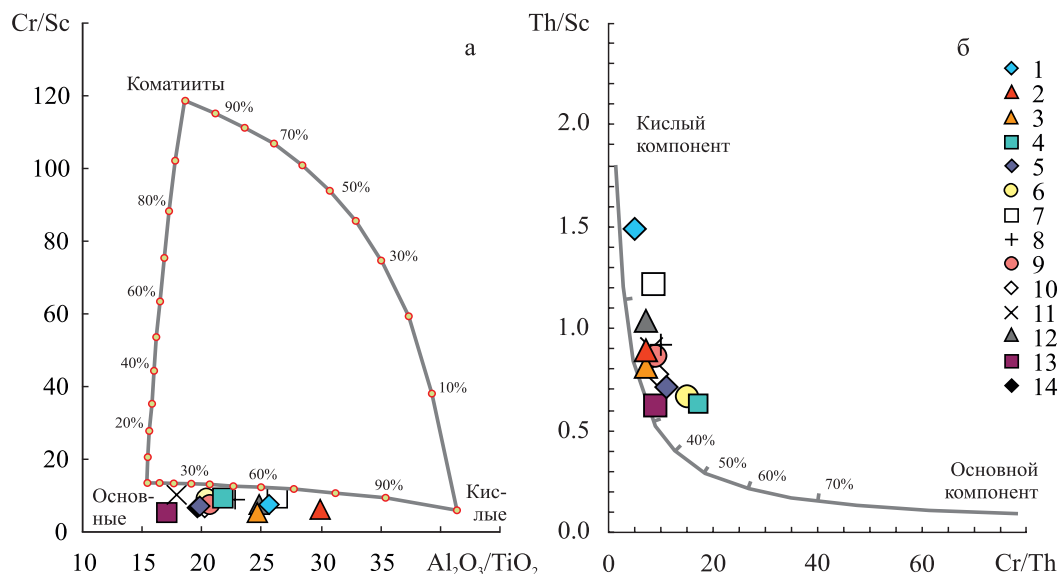


Рис. 3. Положение средних точек глинистых пород рифея и венда западного склона Южного Урала на диаграммах Al_2O_3/TiO_2 –Cr/Sc [Greber, Dauphas, 2019] (a); Cr/Th–Th/Sc (б) [Condie, Wronkiewicz, 1990; Bracciali et al., 2007].

Свиты и подсвиты: 1 – айская, 2 – саткинская, 3 – бакальская, 4 – машакская, 5 – зигазино-комаровская, 6 – авзянская, 7 – бирьянская, 8 – нугушская, 9 – бедерышинская, 10 – инзерская, 11 – укская, 12 – бакеевская, 13 – басинская, 14 – зиганская.

Примерно такой же вывод можно сделать и из анализа особенностей изменения средних для свит величин Cr/Sc (для тонкозернистых обломочных пород юрматиния они в целом несколько выше, чем для глинистых пород бурзяния, т. е. в составе последних доля продуктов размыва кислых магматических пород была несколько выше) (рис. 2б). В то же время значения параметра Ni/Co_{cp} для глинистых сланцев машакской, зигазино-комаровской и авзянской свит заметно выше, чем в тонкозернистых обломочных породах бурзяния, а также больше, чем это свойственно и кислым магматическим породам архея и протерозоя (рис. 2в).

Среднее значение Al_2O_3/TiO_2 в тонкозернистых обломочных породах бирьянской подсвиты зильмердакской свиты каратавия, залегающих выше предверхнерифейского/предзильмердакского перерыва, заметно больше, чем в глинистых сланцах авзянской свиты, формировавшихся до указанного события. В последующем, почти на всем протяжении позднего рифея и венда, вне зависимости от положения тех или иных литостратиграфических подразделений ниже или выше перерывов, средние величины Al_2O_3/TiO_2 с учетом погрешностей сопоставимы и не отличаются существенно от их значений, свойственных глинистым породам среднего рифея (единственное отличие здесь – глинистые сланцы бакеевской свиты, обладающие довольно высокими значениями Al_2O_3/TiO_2). В то же время глинистые сланцы ниже предверхнерифейского/предзильмердакского перерыва и выше него практически не отличаются по средним величинам параметра Cr/Sc и лишь несколько отличаются по значениям Ni/Co_{cp} .

Глинистые породы бакеевской свиты не имеют принципиальных отличий от большинства других уровней верхнего рифея–венда по значениям Cr/Sc, тогда как по величинам Ni/Co такие отличия есть.

Весьма существенно отличаются по средним величинам и Cr/Sc, и Ni/Co глинистые сланцы и аргиллиты инзерской и миньярской свит, разделенные весьма кратковременным предминьярским перерывом, но если с учетом погрешностей для первого из названных выше параметров эти отличия все же статистически не значимы, то для второго они могут рассматриваться как существенные.

Предашинский/предбакеевский перерыв ярко проявлен по Al_2O_3/TiO_2 и Ni/Co , но с учетом погрешностей никак не выражен по Ni/Co . Предположительный предурюкский перерыв ярко проявлен изменением всех трех рассматриваемых параметров. Так, в глинистых породах залегающей ниже него бакеевской свиты параметр Al_2O_3/TiO_2 равен 7.34 ± 0.72 , а в тонкозернистых обломочных породах залегающей выше перерыва басинской свиты его значение составляет 5.48 ± 0.58 . Также заметно различаются ниже предурюкского перерыва и выше него и средние значения двух других индикаторных отношений. Однако следует помнить, что в постурюкское время в бассейне происходит существенная смена системы питания обломочным материалом.

Основываясь на средних для глинистых пород разных свит и подсвит рифея и венда Южного Урала величинах ряда рассмотренных параметров, можно ориентировочно (так как линии смешения приведены в публикации [Greber, Dauphas,

2019] для позднеархейского этапа) оценить состав питающих провинций позднего докембрия и с помощью парной диаграммы $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ –Cr/Sc (рис. 3а). Исходя из расположения на ней фигуративных точек видно, что подавляющее большинство исследованных нами тонкозернистых обломочных пород содержит как будто бы существенную долю продуктов размыва пород основного состава. Это вступает в противоречие, во-первых, с тем, что можно думать, глядя на локализацию тех же точек на диаграмме Cr/Th–Th/Sc [Condie, Wronkiewicz, 1990; Braccialli et al., 2007] (рис. 3б); во-вторых, с недавно опубликованными данными о глобальном тренде эволюции состава питающих провинций в интервале 3500–500 млн лет [Large et al., 2018; Mukherjee et al., 2018; и др.]. В последних работах на основании обобщения данных по геохимическим особенностям значительного числа черносланцевых формаций архея и протерозоя показано, что в указанном интервале происходит смена состава размывавшихся на палеоводосборах комплексов пород от преимущественно основных (отложения с возрастом более 2700 млн лет и те, что формировались между 2200 и 1850 млн лет назад) к преимущественно кислым (2700...2200 млн лет и 1850–1800...500 млн лет назад). Вряд ли состав питающих провинций, выступавших источниками тонкой алюмосиликокластиков для отложений рифея и венда западного склона Южного Урала, мог быть в указанное время принципиально иным. Соответственно, это ставит вопрос о сопоставимости данных о составе питающих провинций, получаемых для одних и тех же осадочных последовательностей разными методами.

Иллюстрации к статье выполнены Н.С. Глушковой.

Исследования проведены в рамках темы № АААА-А18-118053090044-1 государственного задания ИГГ УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Граунов О.В. Изменения палеоклимата в позднем докембрии (по данным изучения верхнедокембрийского разреза Южного Урала) // Литология и полез. ископаемые. 2016. № 2. С. 129–149.
- Маслов А.В., Школьник С.И., Летникова Е.Ф., Вишневская И.А., Иванов А.В., Страховенко В.Д., Черкашина Т.Ю. Ограничения и возможности литогеохимических и изотопных методов при изучении осадочных толщ. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2018. 383 с.
- Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins // Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry / ed. by J. Arribas, S. Critelli, M.J. Johnsson. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2007. V. 420. P. 73–93.
- Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A. The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // Earth Planet. Sci. Lett. 1990. V. 97. P. 256–267.
- Greber N.D., Dauphas N. The chemistry of fine-grained terrigenous sediments reveals a chemically evolved Paleoproterozoic emerged crust // Geochim. Cosmochim. Acta. 2019. V. 255. P. 247–264.
- Large R.R., Mukherjee I., Zhukova I., Corkrey R., Stepanov A., Danyushevsky L.V. Role of upper-most crustal composition in the evolution of the Precambrian ocean–atmosphere system // Earth Planet. Sci. Lett. 2018. V. 487. P. 44–53.
- Mukherjee I., Large R.R., Corkrey R., Danyushevsky L.V. The Boring Billion, a slingshot for Complex Life on Earth // Scientific Reports. 2018. V. 8. 4432. DOI: 10.1038/s41598-018-22695-x.
- Smit M.A., Mezger K. Earth's early O_2 cycle suppressed by primitive continents // Nature Geoscience. 2017. V. 10. P. 788–792. DOI: 10.1038/NGEO3030.
- Tang M., Chen K., Rudnick R.L. Archean upper crust transition from mafic to felsic marks the onset of plate tectonics // Science. 2016. V. 351. P. 372–374.
- Taylor S.R., McLennan S.M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.