

Литогеохимические особенности метатерригенных и железисто-кремнистых пород Белозерской серии и гуляйпольской свиты (Украинский щит)

© *К. И. Гоголев*¹, *Г. В. Артеменко*¹, *Е. Н. Жданов*²

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, г. Киев, Украина.
E-mail: superiorif@gmail.com

² Белозерская ГРП, Запорожская область, пгт Михайловка, Украина

Согласно полученным геохимическим данным, метапесчаники и сланцы белозерской серии и гуляйпольской свиты относятся к зрелым осадкам. Они образовались в мелководных морских бассейнах в приразломных структурах, заложенных на мезоархейском кратоне после 2,96–2,92 млрд лет. Железисто-кремнистые породы белозерской серии и гуляйпольской свиты отличаются низким содержанием U и формировались, вероятно, в бескислородной атмосфере, существовавшей до рубежа 2,47 млрд лет. По молярным отношениям Ni/Fe железистые кварциты гуляйпольской свиты аналогичны палеопротерозойским ЖКФ; для аналогичных пород белозерской серии получены как архейские, так и палеопротерозойские значения Ni/Fe.

Ключевые слова: белозерская серия; гуляйпольская свита; железисто-кремнистая формация; P3Э.

Lithochemical features of metaterigenous rocks and BIF of the Belozerska series and the Gulyaypol suite (Ukrainian Shield)

*K. I. Gogolev*¹, *G. V. Artemenko*¹, *E. N. Zhdanov*²

¹ Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

² Belozerska geological prospecting party, Zaporozhye region, uts. Michailovka, Ukraine

According to the obtained geochemical data, the metasandstones and shales of the Belozerska series and the Gulyaypole suite refer to mature sediments. They were formed in shallow-water marine basins in inside the fault structure, laid on the mesoarchean craton after 2,96–2,92 Ga. The BIF of the Belozerska series and the Gulyaypole suite are distinguished by a low U content and were probably formed in an oxygen-free atmosphere that existed before the 2.47 Ga. According to the molar ratios of Ni/Fe, the BIF of the Gulyaypole suite are similar to the Paleoproterozoic BIF; for similar rocks of the Belozerska series, both Archean and Paleoproterozoic Ni/Fe values were obtained.

Keywords: Belozerska series; Gulyaypole suite; BIF; REE.

Введение. О возрасте осадочно-вулканогенных пород белозерской серии и гуляйпольской свиты и их стратиграфическом соотношении с криворожской серией ведется длительная дискуссия. Они слагают территориально разобщенные структуры, имеют отличия в литофациальном составе, однако железисто-кремнистые формации (ЖКФ) этих толщ очень сходны по составу [5]. Общим в геологическом отношении для этих осадочно-вулканогенных толщ является то, что они залегают в приразломных структурах в архейских плагиигранитоидах (ТТГ) возрастом 3,1–2,92 млрд лет.

В разрезе железисто-кремнистых пород гуляйпольской свиты и белозерской серии присутствуют вулканиты кислого и среднего состава, поэтому их сопоставляют с железисто-кремнисто-лептитовой формацией гимольской серии Балтийского щита, возраст которой 2,76 млрд лет [3]. Имеющиеся геохронологические данные позволяют только приближенно оценить возрастные рубежи формирования белозерской серии и гуляйпольской свиты. Минимальный U-Pb возраст кластогенного циркона из метатерригенных пород белозерской серии — 3,0 млрд лет [1], а кластогенного циркона из метапесчанников гуляйпольской свиты — 2,92 млрд лет [5]. Вулканиты из этих толщ имеют коровый генезис.

Цель исследований. Для решения вопроса о возрасте железисто-кремнистой формации белозерской серии и гуляйпольской свиты важное значение имеют геохимические исследования метатерригенных и железисто-кремнистых пород. Таким образом могут быть использованы данные об эволюционных изменениях состава железисто-кремнистых формаций от палеоархея до палеопротерозоя [6]. Важными реперными событиями в эволюции состава железисто-кремнистых формаций являются появление кислорода в атмосфере Земли (Great Oxidation Event — GOE) — 2,47–2,32 млрд лет назад и рубеж 2,7 млрд лет, когда резко уменьшилось поступление Ni из мантии в земную кору [7]. В связи с этим в период на рубеже 2,47–2,32 млрд лет произошел значительный рост содержания урана, связанный с последствиями GOE [8]. Значение отношения атомных количеств Ni/Fe в архейских железисто-кремнистых породах было $4,5 \cdot 10^{-4}$, а в протерозое значительно уменьшилось — до $<2,2 \cdot 10^{-4}$ [4, 7]

Железисто-кремнистые породы белозерской серии и гуляйпольской свиты также сравнивались с аналогичными архейскими образованиями УЩ.

Методика исследований. Содержание малых и редких элементов в метатерригенных и железисто-кремнистых породах определялось методом индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием анализа (ICP-MS) в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (АСИЦ ИПТМ) РАН. Разложение образцов горных пород проводили путем кислотного вскрытия в автоклаве. Пределы обнаружения для REE, Hf, Ta, Th, U составляли 0,02–0,03 ppm; для Nb, Be, Co — 0,03–0,05 ppm; для Li, Ni, Ga, Y — 0,1 ppm; для Zr — 0,2 ppm; для Rb, Sr, Ba — 0,3 ppm; для Cu, Zn, V, Cr — 1-2 ppm. Правильность анализа контролировалась путем измерения российского стандартного образца метаморфического сланца ССЛ-1 (ГСО 3191-85).

Результаты геохимических исследований метатерригенных пород.

Белозерская серия. Метапесчаники белозерской серии (обр. 84–218, 84–330) олигомиктовые, в их составе преобладает кварц (SiO_2 — 72,99–85,0 масс.%) и глинозем (Al_2O_3 — 4,80–10,83 масс.%). В сланцах (обр. 84–275а) содержание SiO_2 (58,09 масс.%), Al_2O_3 (12,14 масс.%). На диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ их фигуративные точки попадают в поля субаренитов и кварцевых аренитов. По высокому индикаторному отношению $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} = 48\text{--}80,9$ метапесчаники и сланцы белозерской серии относятся к зрелым осадкам [2]. Согласно Петтиджону [2], кварцевые арениты отлагались в мелководных морских шельфах в пределах стабильных кратонов.

Низкое значение отношений Th/U (для метапесчаников — 2,24 и сланцев — 3,54) свидетельствует об их формировании в бескислородной атмосфере. Высокие значения отношений $(\text{La}/\text{Yb})_N$ метапесчаников (18,43) и сланцев (15,77) указывает на их формирование за счет размыва магматических пород с фракционированными спектрами РЗЭ (рис. а).

Sm-Nd модельный возраст метапесчаников белозерской серии — $T_{NdDM} = 3,1$ млрд лет [1] указывает на преобладание в области их сноса плагиогранитоидов сурского комплекса первой интрузивной фазы. Кислые вулканиты белозерской серии не вносили существенного вклада в терригенный материал, так как в них значительно меньше суммарная концентрация РЗЭ, содержание тяжелых РЗЭ, а также Y, V, Cr, Ni и Co.

Гуляйпольская свита. Метапесчаники гуляйпольской свиты олигомиктовые, преобладает кварц; содержание SiO_2 (90,96 масс.%), Al_2O_3 (3,16 масс.%). В сланцах (обр. 89–461) содержание SiO_2 (62,67 масс.%), Al_2O_3 (13,49 масс.%). На диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ их фигуративные точки попадают в поля субаренитов и кварцевых аренитов. По высокому индикаторному отношению $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} = 16,3\text{--}808$ метапесчаники и сланцы гуляйпольской свиты относятся к зрелым осадкам [2].

Высокие отношения $(\text{La}/\text{Yb})_N$ для метапесчаников (15%) и сланцев (11,98%) указывает на их формирование за счет размыва магматических пород с фракционированными спектрами РЗЭ (рис. 1 б). В сланцах гуляйпольской свиты наблюдается отрицательная европиевая аномалия — $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,77$. Низкое отношение Th/U для метапесчаников (2,83) и сланцев (2,8) указывает на бескислородную атмосферу. В области сноса метатерригенных пород гуляйпольской свиты гранитоиды преобладали над вулканитами.

Результаты геохимических исследований железисто-кремнистых пород. В образцах железистых кварцитов белозерской серии и гуляйпольской свиты содержание U низкое, соответственно, 0,19–2,74 0,35 ppm. Такие же низкие содержания U характерны для железисто-кремнистых пород архейской железисто-кремнисто-метабазитовой формации — 0,1–0,6 ppm [6], что позволяет сделать вывод о их формировании в бескислородной атмосфере, которая существовала до рубежа 2,47 млрд лет. В ЖКФ гуляйпольской свиты (обр. 5252) содержание Ni низкое — 2,8 ppm. Молярное отношение Ni/Fe — 0,1.

В образцах железисто-кремнистых пород белозерской серии показатели содержания Ni сильно различаются. В обр. 89–447 ($\text{FeO}_{\text{общ.}} = 38,1\%$) оно низкое (5,61 ppm), а в обр. 89–434 ($\text{FeO}_{\text{общ.}} = 29,7\%$) — высокое (16,9 ppm). Молярные отношения Ni/Fe образца 89–447 — 0,18; образца 89–434 — 0,69. В ЖКФ белозерской серии и гуляйпольской свиты отсутствуют отрицательные цериевые аномалии: значения Ce/Ce^* , соответственно, 1,0–1,05 и 0,99. Это является признаком формирования их в восстановительных условиях в морских бассейнах.

Железистые кварциты белозерской серии характеризуются положительными европиевыми аномалиями ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,43\text{--}2,03$), как и архейские породы железисто-кремнисто-метабазитовой формации, что свидетельствует о влиянии гидротермальных источников. В ЖКФ гуляйпольской свиты наблюдается отрицательная европиевая аномалия ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,70$).

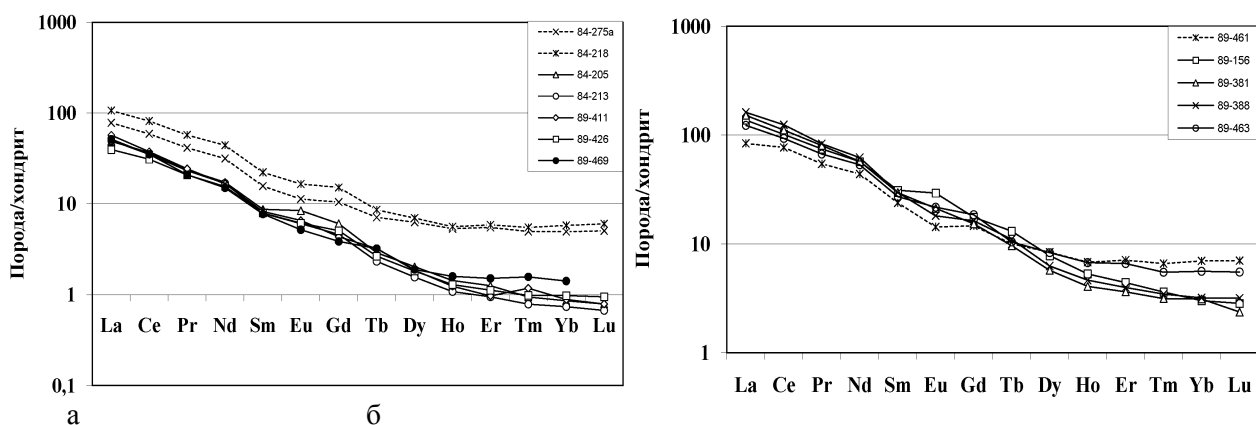


Рис. 1. Графики распределения РЗЭ для метатерригенных пород и метавулканитов белозерской серии (а) и гуляйпольской свиты (б). Нормировано на состав хондрита.

В железистых кварцитах белозерской серии и гуляйпольской свиты, по сравнению с железистыми кварцитами конкской серии, большое содержание K_2O (0,1–1,95%)/(0,05–0,16%), Rb (75,8–242 ppm)/(0,5–1,5 ppm), Zr (21,1–86 ppm)/(2,58–6,9 ppm), Hf (0,61–2,72 ppm)/(0,07–0,09 ppm) и Th (1,2–6,82 ppm)/(0,2–0,52 ppm). Это отличие обусловлено, вероятно, большим количеством кислых пород в области осадконакопления белозерской серии и гуляйпольской свиты.

Литература

1. Терригенный циркон архейских зеленокаменных поясов — источник информации о ранней коре Земли: Приазовье и Приднепровье, Украинский щит / Е. В. Бибилова [и др.] // *Геохимия*. 2010. № 9. С. 899–916.
2. Петтиджон Ф., Потер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
3. Ранний докембрий Балтийского щита. Санкт-Петербург: Наука, 2005. 711 с.
4. Савко К. А., Базиков Н. С., Артеменко Г. В. Геохимическая эволюция железисто-кремнистых формаций Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии: источники вещества и геохронологические ограничения // *Стратиграфия, геологическая корреляция*. 2015. Т. 23. № 5. С. 3–21.
5. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Стратиграфия / Щербак Н. П., [и др.]. Киев: Наукова думка, 1988. 192 с.
6. Iron formation: the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic and biospheric processes / A. Bekker [et al.] // *Economic Geology*. 2010. V. 105. P. 467–508.
7. Oceanic nickel depletion and a methanogen famine before the Great Oxidation Event / K. O. Kohnhauser [et al.] // *Nature*. 2009. V. 458. P. 750–754.
8. Uranium in iron formation and the rise of atmospheric oxygen / C.A. Partin [et al.] // *Chem. Geol.* 2013. V. 262. P. 82–90.

Гоголев Константин Игоревич, младший научный сотрудник Института геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, г. Киев.