

**Укская свита верхнего рифея Южного Урала:
возраст, обстановки седиментации, рудогенез**
(научный руководитель – член-корр. РАН А.В. Маслов)

S.A. Dub
Zavaritsky Institute of Geology and
Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

**Upper Riphean (Neoproterozoic) Uk Formation of South Urals:
age, sedimentation conditions, and ore genesis**

Abstract. It is established that the Uk Formation is older than ~717 Ma. Sediments in a stratotypical section accumulated in distal environments of sedimentary basin. Stromatolites, which make up a significant volume of the stratotypical section were formed below the fair-weather wave base. The weak Ce anomaly (Ce/Ce* 0.95–1.07) of rocks indicates anoxic conditions of the basin of a passive margin of Baltica (Rodinia) in the Late Riphean. The Srednyaya Arsha iron deposit is located in the vicinity of the Tirlyan village (Republic of Bashkortostan) and confined to the Uk Formation and belongs to the Alapaevsk-type iron deposits.

Введение. Укская свита Башкирского мегантиклинория (БМА) на Южном Урале завершает разрез каратауской серии и представляет собой важный объект при изучении эволюции органического мира позднего докембрия и выявления причин глобальных климатических изменений в контексте геологической истории Урала. По результатам исследований этого стратона в 2017–2023 гг. были получены следующие выводы.

1. Укская свита сформировалась до наступления глобального оледенения Стёрт (~717–660 млн лет). В данном случае стратиграфическое значение имеют специфические осадочные текстуры *Molar tooth* (МТ), широко распространенные в карбонатных породах свиты, но практически отсутствующие в отложениях моложе 717 млн лет. Эти текстуры представляют собой раннедиагенетические образования ленточной, червеобразной, веретеноподобной или нитевидной формы (чаще всего в виде трещин), сложенные, как правило, равномерно-кристаллическим микроспаритом [James et al., 1998; Shields, 2002; Hodgskiss et al., 2018].

2. Отложения укской свиты, вскрытые в стратотипическом разрезе на западном крыле Сулеймановской антиклинали БМА, накапливались в наиболее удаленных от берега обстановках по сравнению с отложениями в западных и юго-западных структурно-тектонических зонах – Алатауском антиклинории и Инзерском синклинории. Нижнеукская подсвита в стратотипе имеет терригенно-карбонатный состав, тогда как в других разрезах преобладают терригенные отложения, накапливавшиеся в проксимальных обстановках палеобассейна. Карбонатная верхнеукская подсвита в стратотипе представлена, в основном, строматолитовыми постройками, которые формировались в обстановках ниже базиса действия обычных волн (ниже границы внутреннего и среднего рампа) в условиях постепенного подъема уровня моря и периодического воздействия штормов.

3. Известняки укской свиты, характеризующиеся гидрогненным распределением РЗЭ (с величинами Nd_{sn}/Yb_{sn} в пределах 0.15–0.6 (sn – shale normalized, нормированные на по-старшейский австралийский сланец (PAAS) [McLennan, 1989]), $Y/No > 36$, $\Sigma PЗЭ < 10$ г/т,

Eu/Eu* >0.90), могут быть использованы для реконструкции редокс-параметров среды седиментации. Цериевая аномалия в них практически отсутствует (Ce/Ce* 0.95–1.07), что указывает на бескислородные обстановки в позднем рифее в бассейне пассивной окраины Балтики (входившей тогда в состав Родинии) и согласуется с мировыми данными об анаэробном довендском океане.

Возраст. Для нижеуекской подсвиты по глаукониту получены датировки 688 ± 10 млн лет [Горожанин, Кутявин, 1986], а также 663 ± 9 и 669 ± 16 млн лет [Зайцева и др., 2008]. С другой стороны, для известняков укской свиты характерны достаточно низкие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.70535–0.70611 [Кузнецов и др., 2003, 2018]), не типичные для пост-стёртских отложений [Chen et al., 2022]. Значимым аргументом в пользу более древнего возраста свиты служат данные о стратиграфическом распределении т. н. «фаций конкретного времени» (*time specific facies* [Walliser, 1996; Schindler, 2012]). В качестве образований такого рода в известняках укской свиты выступают многочисленные МТ текстуры. Считается, что эти текстуры практически полностью исчезают из геологической летописи на уровне ~717 млн лет [James et al., 1998; Shields, 2002; Hodgskiss et al., 2018] в связи с наступлением глобального оледенения Стёрт. Данные о возрасте подтверждаются и датировками, полученными по вулканическим породам аршинской серии [Краснобаев и др., 2012], перекрывающей каратаускую серию на восточном крыле БМА.

Фацции. В стратотипическом разрезе нижеуекская подсвита подразделена на три, а верхнеуекская – на четыре толщи («пачки» с географическим названием). Данные литолого-фациального анализа пород стратотипа позволяют предполагать смену обстановок в раннеуекское время от прибрежно-морских терригенных к мелководно-морским терригенно-карбонатным за счет колебаний относительного уровня моря и, вероятно, изменений климата. Тонкостолбчатые строматолиты в основании верхней подсвиты возникли в зоне нижней литорали – верхней сублиторали под влиянием течений, переносящих терригенный материал, тогда как вышележащие органогенные постройки толстостолбчатых строматолитов формировались уже в обстановках ниже базиса действия обычных волн, т. е. ниже границы внутреннего и среднего рампа. Между постройками присутствуют пакеты слоистых известняков, представляющие собой отложения периодических штормовых течений. Во время накопления осадков слоистой толщи, фактически разделяющей два строматолитовых биострома, доминировали обстановки внутреннего рампа – верхней части среднего рампа. В целом, последовательность отложений отвечает трансгрессивному тренду в развитии бассейна. Замедление темпов подъема уровня моря или его падение соответствует времени образования толщи слоистых отложений, несущих признаки воздействия обычных и штормовых волн.

Редокс-обстановки. Проанализированы нормированные на PAAS спектры РЗЭ валовых проб известняков (50 обр.) и различных кислотных вытяжек из них (47 проб). Из всей коллекции для оценки редокс-параметров среды отобрано только небольшое количество проб (7 из 97). Они представлены ультрарыхлыми известняками или кислотными вытяжками без контаминации некарбонатными фазами со спектрами РЗЭ, унаследованными от морской воды. О присутствии некарбонатных минералов-концентраторов РЗЭ могут свидетельствовать содержания $\Sigma\text{РЗЭ}$ более 10 г/т, а выраженная отрицательная Eu аномалия указывает на примесь терригенного/глинистого материала. Гидрогенные спектры РЗЭ при нормировании на глинистые сланцы характеризуются обогащением тяжелыми РЗЭ относительно легких (отношение $\text{Nd}_{\text{sn}}/\text{Yb}_{\text{sn}}$ 0.15–0.6) в связи с формированием тяжелыми РЗЭ более устойчивых комплексов в слабощелочной морской воде, а также значениями Y/No свыше 36 ввиду более продолжительного времени пребывания в океане Y, чем No. В пробах, удовлетворяющих названным критериям, значения Ce/Ce* составляют 0.95–1.07 (отношение Ce/Ce* вычислено без учета концентраций La, а Eu/Eu* – без учета содержаний Gd [Lawrence et al., 2006]). По-

лученные результаты согласуются с представлениями о господстве бескислородных условий практически во всей водной толще позднерифейского океана, включая и мелководные шельфовые моря, при всей известной «мозаичности» (с учетом (полу)изолированных бассейнов) редокс-обстановок в то время [Маслов, Подковыров, 2018].

Рудогенез. На восточном крыле БМА к полю распространения карбонатных пород укской свиты приурочено Средне-Аршинское месторождение железных руд, находящееся в урочище Рудник к северу от с. Тирлян (Республика Башкортостан). Месторождение представлено двумя залежами бурых железняков среди охристых глин [Салихов и др., 2008]. Рудные тела вытянуты в северо-западном направлении. На поверхности они имели площадь 75×275 и 100×275 м, распространяясь на глубину 50 м и более. Бурые железняки плотные, ноздреватые или натечные («стеклянные головы»), реже тонкопористые и брекчиевидные (с крупными обломками кварца). Сейчас в урочище можно видеть два затопленных карьера. Борты юго-западного карьера представлены скальными выходами мраморизованных известняков укской свиты. Диагностированы слоистые разности с реликтами МТ текстур и массивные строма-толитовые известняки. Несмотря на высокую степень преобразований, текстурные особенности позволяют сопоставлять отложения с двумя конкретными толщами верхней подсвиты стратотипического разреза. По комплексу признаков Средне-Аршинское месторождение относится к месторождениям железных руд алапаевского типа [Холодов и др., 2012]. По всей видимости, его возникновение связано с процессами инфильтрации и карстообразования: миграцией кислых вод (коллоидного раствора) и последующим осаждением из них железа в виде (окси)гидроксидов на геохимическом барьере – при попадании в щелочную среду карбонатных толщ (карстовая «ловушка»).

Исследования проведены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (№ 123011800013-6) и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-00062).

Литература

- Горожанин В.М., Кутявин Э.П. Рубидий-стронциевое датирование глауконита укской свиты // В кн.: Докембрий и палеозой Южного Урала. Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 60–63.
- Зайцева Т.С., Горохов И.М., Ивановская Т.А. и др. Мессбауэровские характеристики, минералогия и изотопный возраст (Rb-Sr, K-Ar) верхнерифейских глауконитов укской свиты Южного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т. 16. № 3. С. 3–25.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н. и др. Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. 2012. № 4. С. 127–140.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. и др. Изотопный состав Sr в карбонатных породах каратавской серии Южного Урала и стандартная кривая вариаций отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в позднерифейском океане // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 5. С. 3–39.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н. Редокс-статус океана 2500–500 млн лет назад: современные представления // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 3. С. 207–231.
- Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Ларионов Н.Н., Беликова Г.И. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (железные руды). Уфа: Гилем, 2008. 148 с.
- Холодов В.Н., Недумов Р.И., Голубовская Е.В. Фациальные типы осадочных железорудных месторождений и их геохимические особенности. Сообщение 1. Фациальные группы осадочных руд, их литология и генезис // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 6. С. 503–531.
- Chen X., Zhou Y., Shields G. Progress towards an improved Precambrian seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve // Earth-Science Reviews. 2022. Vol. 224. 103869.

Hodgskiss M.S.W., Kunzmann M., Poiriere A., Halverson G.P. The role of microbial iron reduction in the formation of Proterozoic molar tooth structures // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. Vol. 482. P. 1–11.

James N.P., Narbonne G.M., Sherman A.G. Molar-tooth carbonates: Shallow subtidal facies of the Mid- to Late Proterozoic // *Journal of Sedimentary Research*. 1998. Vol. 68. P. 716–722.

Lawrence M.G., Greig A., Collerson K.D., Kamber B.S. Rare earth element and yttrium variability in South East Queensland waterways // *Aquatic Geochemistry*. 2006. № 12. P. 39–72.

McLennan S.M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes // In: *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements* / Eds. B.R. Lipin, G.A. McKay. Mineralogical Society of America, 1989. P. 169–200.

Schindler E. Time-specific facies – a great concept introduced by a great man: Otto H. Walliser // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012. Vol. 3–5. P. 367–368.

Shields G.A. «Molar-tooth microspar»: A chemical explanation for its disappearance ~750 Ma // *Terra Nova*. 2002. Vol. 14. P. 108–113.

Walliser O.H. Global events in the Devonian and Carboniferous // In: *Global Events and Event Stratigraphy* / Ed. Walliser O.H. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1996. P. 225–250.