



УДК (553.41:553.491):551.72(470.55/.58)

## БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО РИФЕЯ БАШКИРСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А. В. Маслов<sup>1</sup>, С. Г. Ковалев<sup>2</sup>

Одной из крупнейших структур западного склона Южного Урала является Башкирский антиклинорий, сложенный верхнедокембрийскими осадочными и вулканогенно-осадочными образованиями, расчленяющимися на бурзянскую, юрматинскую, каратаускую (типичные подразделения рифея) и ашинскую (венд) серии. Рассмотрены первые данные о благороднометалльной (Au, Pt, Pd, Ru, Rh и Ir) специализации как «фоновых» терригенных пород нижнего и среднего рифея (мезопротерозоя) Башкирского антиклинория, так и одновозрастных им осадочных образований, приуроченных к тектоническим зонам, подвергшимся локальному динамотермальному метаморфизму зеленосланцевой фации и прорванным интрузивными породами основного состава. В результате исследований выявлены генетические различия в благороднометалльной специализации «фоновых» терригенных отложений и терригенных пород из тектонических зон.

**Ключевые слова:** Башкирский антиклинорий, нижний рифей, средний рифей, ЭПГ, Au, терригенные породы, тектонические зоны.

## NOBLE METAL SPECIALIZATION OF THE LOWER AND MIDDLE RIPHEAN TERRIGENOUS ROCKS OF THE BASHKIR ANTICLINORIUM (SOUTH URALS)

A. V. Maslov, S. G. Kovalev

The Bashkir anticlinorium constituted by the upper Precambrian sedimentary and volcanogenic-sedimentary formations subdivided into Burzyanian, Yurmatian and Karatausky (standard subdivisions of Riphean) and the Asha group (Vendian) is one of the largest structures of the western South Urals slope. The first data on the noble metal (Au, Pt, Pd, Ru, Rh and Ir) specialization both background terrigenous rocks of the Lower and Middle Riphean (Mesoproterozoic) of the Bashkir anticlinorium and their even-aged sedimentary formations confined to linear tectonic zones and undergone a local dynamothermal metamorphism of greenschist facies are considered. Result of the studies revealed genetic differences in the noble metal specialization of background terrigenous deposits and terrigenous rocks from linear tectonic zones.

**Keywords:** Bashkir anticlinorium, Lower Riphean, Middle Riphean, PGE, Au, terrigenous rocks, linear tectonic zones.

Башкирский антиклинорий – одна из крупнейших структур Южного Урала. Слагающие его верхнедокембрийские отложения расчленены на бурзянскую, юрматинскую, каратаускую (типичные подразделения рифея России [9, 10]) и ашинскую (венд) серии [8]. Ранее в пределах антиклинория были выполнены региональные геохимические исследования, позволившие установить особенности распределения редких и рассеянных элементов в тонкозернистых обломочных породах типовых разрезов рифея [2]. В настоящей работе приводятся первые данные о благороднометалльной специализации двух типов образований: 1) «фоновых», относительно слабо измененных постседиментационными (преимущественно геохимическими [11]) процессами песчаников, алевролитов и глинистых сланцев нижнего и среднего рифея, которые не несут явных признаков ремобилизации материала, воздействия метаморфотметасоматических процессов или привноса рудных компонентов; 2) одновозрастных им пород, приуроченных к тектоническим зонам, которые

подвергались локальному динамотермальному метаморфизму зеленосланцевой фации и были прорваны интрузивными породами основного состава.

Определения элементов платиновой группы (ЭПГ) и Au выполнены методом ICP-MS в ЦИИ ВСЕГЕИ (аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудрявцев; пределы обнаружения – 0,002 г/т).

На северо-востоке Башкирского антиклинория к нижнему рифею относятся айская, саткинская и бакальская свиты. В центральных районах с ними по составу и комплексу фитолитов сопоставляются большеинзерская, суранская и юшинская свиты.

Айская свита включает два крупных подразделения: нижнее (мощность 2000–2500 м) вулканогенно-терригенное грубообломочное и верхнее (~1000 м), представленное преимущественно темноокрашенными тонкозернистыми терригенными отложениями. Саткинская свита (1700–3500 м) сложена в основном доломитами, в том числе их фитогенными разновидностями, и подразделяется на пять подсвит, из которых в третьей снизу (половинкинской подсвите), преобладают низкоугле-

<sup>1</sup> ИГГ УрО РАН (Екатеринбург); <sup>2</sup> ИГ УНЦ РАН (Уфа)



родистые глинистые сланцы. *Бакальская* свита представлена в нижней части (500–650 м) низкоуглеродистыми глинистыми сланцами, а в верхней объединяет ряд карбонатных и терригенных пачек.

*Большеинзерская* свита (2200 м и более) состоит из песчаников, низкоуглеродистых глинистых сланцев, алевролитов и карбонатных пород. *Суранская* свита (1000–2800 м) объединяет хемогенные и механогенные известняки и доломиты, глинистые и карбонатно-глинистые, в той или иной мере углеродистые сланцы и алевролиты. *Юшинская* свита (650–1000 м) сложена глинистыми сланцами и низкоуглеродистыми их разностями, алевролитами и песчаниками.

Источниками сноса для рассматриваемых образований, исходя из свойственного им распределения РЗЭ, Th, Co и Sc, были преимущественно кислые магматические образования [2].

Сумма Ru, Pd, Ir и Pt в глинистых сланцах *айской* свиты составляет ~0,07 г/т, при этом  $Ru/Ir = 1,9$ ,  $Pt/Pd = 0,1$ ,  $Ir/Pt = 0,3$ ,  $Ir/Pd = 0,05$ , а  $Pt_N/Ru_N \approx 1,0$ . Нормированный на содержания ЭПГ в верхней континентальной коре (УСС [15]) спектр их распределения демонстрирует преобладание Pd и Ir. Содержание ЭПГ в глинистых породах *саткинской* свиты в среднем примерно равно  $0,03 \pm 0,02$  г/т, средние значения отношений  $Ru/Ir = 0,9$ ,  $Pt/Pd = 0,3$ ,  $Ir/Pt = 0,5$ ,  $Ir/Pd = 0,06$ , а  $Pt_N/Ru_N \approx 1,1$ . Нормированные на УСС спектры распределения ЭПГ в глинистых породах данного уровня показывают существенное преобладание Pd и Ir ( $\approx 50$  и  $110$  соответственно), тогда как средние концентрации Ru и Pt составляют  $\approx 9$  и  $18$ , а Au –  $1,4$ – $17,3$ . Среднее содержание ЭПГ в глинистых сланцах *бакальской* свиты  $0,04 \pm 0,01$  г/т,  $Pt/Pd_{cp} = 0,16 \pm 0,10$ , а  $Pt_N/Ru_N = 1,1$ . Средние уровни концентрирования Ru, Pd и Pt относительно УСС для глинистых пород рассматриваемого уровня равны  $\approx 10$ ,  $70$  и  $10$  соответственно. Для глинистых сланцев *суранской* свиты  $Ru+Pd+Pt_{cp} = 0,05 \pm 0,03$  г/т, среднее значение  $Pt/Pd = 0,11 \pm 0,02$ , значение  $Pt_N/Ru_N$  приближается к  $1,4$ . Средние уровни концентрирования Pd и Pt относительно УСС составляют  $\approx 80$  и  $10$  соответственно. Среднее содержание ЭПГ в глинистых породах *юшинской* свиты примерно такое же, как и в аналогичных по гранулометрическому составу породах *суранской* свиты ( $0,05 \pm 0,01$  г/т). Значения  $Pt/Pd_{cp}$ ,  $Ir/Pt_{cp}$  и  $Ir/Pd_{cp}$  равны  $0,19 \pm 0,16$ ;  $0,34 \pm 0,08$  и  $0,07 \pm 0,02$  соответственно, а  $Pt_N/Ru_{Ncp} = 1,3$ . Средние уровни концентрирования ЭПГ в глинистых сланцах *юшинской* свиты относительно УСС для Ru и Pt составляют  $8$  и  $12$ , а для Pd и Ir –  $76$  и  $109$ . В песчаниках данного уровня  $Ru+Pd+Ir+Pt_{cp} = 0,05 \pm 0,01$  г/т, минимальное значение  $Pt/Pd$   $0,05$ , максимальное  $1,38$ . Значение  $Pt_N/Ru_{Ncp}$  примерно такое же, как и для глинистых сланцев (соответственно  $1,2$  и  $1,3$ ). Уровни концентрирования ЭПГ относительно УСС в песчаниках и глинистых сланцах *юшинского* уровня также сопоставимы.

В целом, для «фоновых» терригенных пород бурзянской и юрматинской серий характерна палладиевая геохимическая специализация. По отношению к содержанию Pd в континентальной коре [16] его количество в глинистых породах различных уровней нижнего и среднего рифея весьма стабильно и составляет в среднем примерно  $40$ – $100$ , в то время как Pt –  $2$ – $13$ , Ru –  $2$ – $25$ , Ir –  $6$ – $25$ . Содержания Au, напротив, близки к коровым –  $0,63$ – $2,46$ . Отличительной чертой «фоновых» образований указанных серий является также отсутствие Rh: его значимых содержаний не установлено ни в одном из более чем  $110$  проанализированных образцов.

Данные о содержаниях ЭПГ и Au в «фоновых» образованиях нижнего и среднего рифея нами сопоставлены с таковыми в породах Интуратовской тектонической зоны (низкоуглеродистые глинистые и карбонатно-глинистые сланцы *суранской* свиты с многочисленными кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками и жилами разнообразных форм и размеров, пронизанными дайками габбро-долеритов). Кроме того, проанализированы конгломераты, песчаники и алевролиты стратифицированного вулканоплутонического шатакского комплекса и среднерифейские породы Улуелгинско-Кудашмановской зоны, детально охарактеризованные в [1, 3].

В результате выявлены значительные различия в распределении ЭПГ и Au между «фоновыми» образованиями и их метаморфизованными аналогами. Так, для низкоуглеродистых глинистых и карбонатно-глинистых сланцев Интуратовской тектонической зоны характерна Pd-Rh специализация, а параметр Pt/Pd примерно на порядок выше, чем в «фоновых» породах этого же стратиграфического уровня. Нормированные на континентальную кору [16] содержания Ir в породах этой зоны различаются почти на три порядка. На перераспределение ЭПГ в процессе метаморфизма отчетливо указывают повышенные содержания Pt, Pd и Ir в кварцевых жилах, секущих сланцы Интуратской зоны. Определенное своеобразие в распределении нормированных на континентальную кору [16] содержаний Au и ЭПГ устанавливается и для терригенных пород шатакского комплекса. Для них характерна Pd-Pt-Rh- и Pt-Pd-Rh-специализация при  $Pt/Pd = 0,66$ – $1,38$ . Смена типа благороднометалльной специализации терригенных пород с Pt-Pd на Pd-Pt хорошо коррелирует с материалами, полученными при изучении рудоносности докембрийских конгломератов шатакского комплекса, в которых была выявлена Os-Pd-Pt специализация пород при  $Pt/Pd \approx 4$  [3].

Генетическая природа различий геохимической специализации как «фоновых» терригенных образований нижнего и среднего рифея Башкирского антиклинория, так и их стратиграфических аналогов, приуроченных к тектоническим зонам,



выявляется при анализе распределения нормированных на примитивную мантию [14] содержаний Au и ЭПГ в породах магматических комплексов ранне-среднерифейского возраста, распространенных в антиклинории. Для них характерно хорошо выраженное обогащение Au, Pd, Pt и Rh по отношению к примитивной мантии, что свидетельствует о значительном рудогенерирующем потенциале этого типа магматизма, так как при плавлении субстрата перечисленные элементы накапливаются в расплаве [13]. По сравнению с содержаниями благородных металлов в «эталонных» составах пикритов и коматиитов [12] южноуральские пикриты и пикродолериты в значительной степени обогащены Pd и Rh при близких (либо незначительно больших) количествах Au, Pt, Ru и Ir. Это указывает на специфику южноуральской магматической провинции, а существенные вариации содержаний Pt, Pd и Au свидетельствуют об их подвижности в процессах внутрикоровой дифференциации.

Сопоставление графиков нормированных содержаний ЭПГ в терригенных и магматических породах рифея Башкирского антиклинория показывает, что в первую очередь они различаются наличием/отсутствием Rh. Из этого следует, что Rh может являться индикатором геохимической специализации как «фоновых» терригенных пород стратотипических разрезов, в которых он отсутствует, так и осадочных, приуроченных к тектоническим зонам, где его содержания относительно высоки.

Согласно современным геодинамическим построениям западный склон Южного Урала в мезопротерозое являлся частью Волго-Уральского сегмента палеоконтинента Балтика [6]. Проявление на указанной территории в раннем рифее плюмовых процессов [7] привело к формированию интракратонного прогиба и внедрению в зоны конседиментационных разломов многочисленных мелких базитовых и базит-гипербазитовых интрузий (пикриты, пикродолериты, меланократовые габбро-долериты). Собственно рифтогенный этап начала среднего рифея характеризовался уже линейно сконцентрированным растяжением литосферы [5], что в пределах западного склона Южного Урала и прилегающей части Русской плиты привело к формированию серии грабенообразных структур с максимальным развитием интрузивного магматизма и вулканизма [1]. Процессы плавления мантийного субстрата и его дифференциация в промежуточных очагах способствовали образованию магм, различавшихся как по основности (пикриты, долериты, базальты, риолиты), так и по геохимическим характеристикам (обогащенность Au, Pt и Pd и др.). При этом осадочные породы в проницаемых зонах подверглись воздействию глубинных флюидов, что, по всей видимости, и привело к формированию геохимических аномалий ЭПГ и Au.

Таким образом, благороднометалльная геохимическая специализация «фоновых» терригенных образований бурзяния и юрматиния Башкирского антиклинория, входящих в состав стратотипических разрезов рифея, и их стратиграфических аналогов, приуроченных к линейным тектоническим зонам проявления локального зеленосланцевого динамотермального метаморфизма, насыщенным интрузивными телами основного состава, имеет различную генетическую природу, в существенной мере обусловленную стилем геологического развития региона.

*Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке проекта УрО РАН 12-С-5-1002.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геохимическая** специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория [Текст] / С. Г. Ковалев, И. В. Высоцкий, В. Н. Пучков [и др.]. – Уфа : ДизайнПресс, 2013. – 268 с.
2. **Геохимия** тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии [Текст] / А. В. Маслов, А. Д. Ножкин, В. Н. Подковыров [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 2008. – 274 с.
3. **Ковалев, С. Г.** Новый тип благороднометалльной минерализации в терригенных породах Шатакского грабена (западный склон Южного Урала) [Текст] / С. Г. Ковалев, И. В. Высоцкий // Литология и полезные ископаемые. – 2006. – № 4. – С. 415–421.
4. **Ковалев, С. Г.** Позднедокембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала [Текст] / С. Г. Ковалев // Геотектоника. – 2008. – № 2. – С. 68–79.
5. **Маслов, А. В.** Седиментационные бассейны рифея западного склона Южного Урала (фашии, литолого-фашиальные комплексы, палеогеография, особенности эволюции): Автореф. дис. ... д.г.-м. н. [Текст] / А. В. Маслов. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН, 1997. – 54 с.
6. **Пучков, В. Н.** Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении) [Текст] / В. Н. Пучков. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
7. **Пучков, В. Н.** Плюмовые события на Урале и их связь с субглобальными эпохами рифтогенеза [Текст] / В. Н. Пучков, С. Г. Ковалев // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: материалы 2-го Всерос. симп., посвящ. памяти акад. Н. А. Логачева и Е. Е. Милановского. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2013. – С. 34–38.
8. **Рифей** западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы) [Текст] / А. В. Маслов, М. Т. Крупенин, Э. З. Гареев, Л. В. Анфимов. – Екатеринбург : ИГГ УрО РАН,



2001. – Т. I. – 351 с. ; Т. II. – 134 с. ; Т. III. – 130 с. ; Т. IV. – 103 с.

9. **Семихатов, М. А.** Хроностратиграфия и хронометрия: конкурирующие концепции общего расчленения докембрия [Текст] / М. А. Семихатов // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 2008. – Т. 83, вып. 5. – С. 36–58.

10. **Стратотип** рифея. Стратиграфия. Геохронология [Текст] / Отв. ред. Б. М. Келлер, Н. М. Чумаков. – М. : Наука, 1983. – 184 с.

11. **Япаскурт, О. В.** Предметаморфические изменения осадочных пород в стратисфере. Процессы и факторы [Текст] / О. В. Япаскурт. – М. : ГЕОС, 1999. – 260 с.

12. **Barnes, S.-J.** Formation of magmatic nickel-sulfide ore deposits and processes affecting their copper and platinum-group element contents [Text] /

S.-J. Barnes, P. C. Lightfoot // *Economic Geology*. – 2005. – 100<sup>th</sup> Anniversary Vol. – P. 179–213.

13. **Barnes, S.-J.** The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids [Text] / S.-J. Barnes, W. D. Maier // *C.E.G. Geological Association of Canada. Short Course*. – 1999. – Vol. 13. – P. 69–106.

14. **McDonough, W. F.** Composition of the Earth [Text] / W. F. McDonough, S. S. Sun // *Chem. Geol.* – 1995. – Vol. 120. – P. 223–253.

15. **Rudnik, R. L.** Composition of the Continental Crust [Text] / R. L. Rudnik, S. Gao // *Treatise on Geochemistry*. – 2003. – Vol. 3. – P. 1–64.

16. **Wedepohl, K. H.** The composition of the continental crust [Text] / K. H. Wedepohl // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1995. – Vol. 59. – P. 1217–1239.

© А. В. Маслов, С. Г. Ковалев, 2014