

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ
ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НИЖНЕГО РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА
И ПЛАТФОРМЕННОЙ БАШКИРИИ: ОПЫТ СОПОСТАВЛЕНИЯ**

А.В. Маслов

На территории платформенной части республики Башкортостан (Камско-Бельская впадина) наибольшей (до 7500-9000 м) мощностью среди рифейских осадочных последовательностей пользуются отложения бурзяния (прикамская, калтасинская и надеждинская свиты). По литологическим, геохронологическим и сейсмостратиграфическим данным они коррелируются с айской, саткинской и бакальской свитами эталонного разреза рифея Южного Урала [Рабочая..., 1981; Лозин, Хасанов, 1991; Ишерская, Романов, 1993; Маслов, Ишерская, 1998; Лозин, 1999; Стратиграфическая..., 2000; Рома-

нов, Ишерская, 2001]. По тонкозернистым терригенным образованиям нижнего рифея стратотипической местности в последние годы выполнен крупный комплекс детальных лито-геохимических исследований [Маслов и др., 2004, 2006 и др.], позволивший установить специфические геохимические особенности каждой из литостратиграфических единиц разреза и реконструировать тренды их изменения вверх по разрезу; в настоящее время появилась возможность сопоставить эту информацию с данными по отложениям бурзяния Камско-Бельской впадины.

Нижний рифей в Камско-Бельской впадине представлен кырпинской серией, объединяющей прикамскую, калтасинскую и надеждинскую свиты. Прикамская свита залегает на глубоко размытых породах кристаллического фундамента и сложена серыми и розовато-серыми, преимущественно мелко- и среднезернистыми кварцевыми, кварц-полевошпатовыми и аркозовыми песчаниками, темноцветными аргиллитами и алевролитами, конгломератами и гравелитами. В верхней части свиты присутствуют также доломиты с прослоями песчаных разностей и доломитовых мергелей. Мощность прикамской свиты варьирует от 100 до 1800 м. Калтасинская свита (60-3500 м) представлена различными типами карбонатных пород (преимущественно доломитами) при подчиненной роли тонкозернистых терригенных образований; последние тяготеют преимущественно к средней части свиты (арланская подсвита). Надеждинская свита (150-730 м) объединяет пестроцветные песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями гравелитов и конгломератов; в верхней ее части преобладают тонкозернистые терригенные и карбонатно-терригенные отложения.

Прикамская свита сопоставляется с айской свитой типового разреза рифея; калтасинская свита – с саткинской [Стратотип..., 1983; Ишерская, Романов, 1993; Маслов, Ишерская, 1998; Романов, Ишерская, 2001 и др.]. Отложения надеждинской свиты соответствуют либо бакальской, либо машакской свитам [Романов, Ишерская, 1994]; последнее возможно, если считать, что калтасинская свита синхронна с образованиями всего послеайского интервала бурзянской серии.

Айская свита включает два крупных подразделения [Маслов, Крупенин, 1991]. Нижнее, залегающее с глубоким размывом на архей-раннепротерозойских метаморфических породах Тараташского комплекса, складывается грубообломочными терригенными породами и ассоциирующими с ними в ряде разрезов основными вулканитами. Верхнее подразделение представлено в основном низкоуглеродистыми глинистыми сланцами¹. Мощность отложений айской свиты достигает 3000-3500 м. Саткинская свита (1700-3500 м) объединяет преимуще-

ственно доломиты и известняки, которым подчинены маломощные прослои мелкозернистых алевролитов и глинистых сланцев. Свита расчленена на пять подсвит (снизу вверх) – нижне- и верхнекусинскую, половинкинскую, нижне- и верхнесаткинскую [Стратотип..., 1983; Стратиграфические..., 1993]. Нижнекусинская подсвита (мощность более 900 м) представлена в основном доломитами, подчиненную роль в ее разрезах играют известняки и глинистые сланцы. Верхнекусинская подсвита (800-900 м) складывается доломитами, среди которых в виде маломощных прослоев также присутствуют глинистые сланцы и их низкоуглеродистые разности. Половинкинская подсвита (160-200 м) объединяет углеродисто-глинистые сланцы с прослоями алевролитов и/или карбонатных пород. Нижнесаткинская подсвита (300-450 м) представлена в основном доломитами с терригенной примесью; подчиненную роль играют здесь низкоуглеродистые глинистые сланцы, а также фитогенные карбонаты. Верхнесаткинская подсвита (до 1200 м) сложена в нижней части доломитами и их глинистыми разностями. Выше наблюдаются доломиты с прослоями углеродисто-глинистых сланцев, сменяющиеся известняками. Бакальская свита сложена низкоуглеродистыми глинистыми сланцами и алевролитами, доломитами и известняками. Мощность ее 1400-1600 м, из них примерно 650 м приходится на нижнюю, макаровскую подсвиту, в составе которой доминируют тонкозернистые терригенные породы. Верхняя, малобакальская подсвита объединяет 10 пачек глинистых сланцев, алевролитов и карбонатных пород, имеющих мощность от 100-150 до 250-300 м. Отложения малобакальской подсвиты прорваны в пределах Бакальского рудного поля т. н. Главной дайкой [Крупенин, 1999], изотопный Rb-Sr возраст которой равен 136035 млн лет [Эльмис и др., 2000]. Возраст раннего диагенеза известняков березовской (самой нижней) пачки малобакальской подсвиты составляет, по данным Pb-Pb метода, 1430 ± 30 млн лет [Кузнецов и др., 2001].

Для сопоставления геохимических особенностей тонкозернистых терригенных пород нами использованы авторский банк данных по прецизионной (ICP-MS метод) геохимии отло-

¹В стратиграфической схеме М.И. Гараня [1969] нижнему подразделению отвечают навышская, липовская и чудинская подсвиты, имеющие суммарную мощность в 1400-1600 м, а верхнему – кисеганская и сунгурская подсвиты (до 800-1000 м).

Таблица 1

Нормированные на РААС медианные, максимальные и минимальные содержания крупноионных литофильных, высокозарядных и редкоземельных элементов и переходных металлов в тонкозернистых терригенных образованиях различных свит нижнего рифея

| Свита/Элементы | Cs | Ba | Rb | Sr | Pb | Th | U | Zr | Nb | Y | Hf | Cr | Co | Ni | V | Sc | Cu | La | Sm | Yb |
|-------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Прикамская | Медиана | 0,38 | 0,47 | 0,24 | 0,42 | 0,65 | 1,19 | 0,70 | 0,71 | 0,43 | 1,00 | 0,70 | 0,80 | 0,69 | 0,57 | 0,60 | 0,31 | 0,57 | 0,62 | 0,50 |
| | Максимум | 0,51 | 0,65 | 0,46 | 0,75 | 0,94 | 1,51 | 0,94 | 0,86 | 0,88 | 1,42 | 1,26 | 1,34 | 0,93 | 0,82 | 1,05 | 3,48 | 0,95 | 1,10 | 0,82 |
| | Минимум | 0,15 | 0,18 | 0,12 | 0,34 | 0,20 | 0,70 | 0,48 | 0,44 | 0,12 | 0,70 | 0,56 | 0,58 | 0,49 | 0,35 | 0,29 | 0,15 | 0,20 | 0,24 | 0,20 |
| Калташин- ская | Медиана | 0,60 | 0,38 | 0,52 | 0,43 | 0,76 | 0,96 | 0,60 | 0,78 | 0,46 | 0,91 | 0,96 | 0,74 | 0,57 | 0,71 | 0,78 | 0,60 | 0,70 | 0,65 | 0,51 |
| | Максимум | 0,69 | 0,45 | 0,74 | 0,48 | 0,99 | 1,08 | 0,76 | 0,84 | 0,82 | 1,14 | 1,01 | 0,82 | 0,59 | 0,81 | 0,82 | 1,10 | 1,05 | 1,13 | 0,79 |
| | Минимум | 0,53 | 0,33 | 0,44 | 0,23 | 0,62 | 0,93 | 0,47 | 0,71 | 0,37 | 0,74 | 0,90 | 0,66 | 0,50 | 0,56 | 0,66 | 0,19 | 0,64 | 0,48 | 0,43 |
| Надеждин- ская | Медиана | 0,26 | 0,60 | 0,58 | 0,22 | 0,82 | 0,90 | 0,47 | 0,61 | 0,75 | 0,67 | 0,98 | 0,86 | 0,80 | 0,54 | 0,88 | 0,47 | 0,84 | 1,24 | 0,79 |
| | Максимум | 0,31 | 0,63 | 0,70 | 0,27 | 1,04 | 1,20 | 0,75 | 0,83 | 0,84 | 0,78 | 1,40 | 1,01 | 0,90 | 0,70 | 0,95 | 1,83 | 1,51 | 1,43 | 0,86 |
| | Минимум | 0,19 | 0,48 | 0,53 | 0,18 | 0,36 | 0,67 | 0,38 | 0,44 | 0,49 | 0,51 | 0,79 | 0,74 | 0,54 | 0,41 | 0,46 | 0,14 | 0,31 | 0,48 | 0,47 |
| Айская | Медиана | 0,31 | 0,82 | 0,95 | 0,28 | 0,97 | 0,98 | 1,18 | 0,94 | 1,20 | 1,31 | 1,47 | 0,72 | 1,02 | 0,66 | 1,13 | 0,19 | 1,06 | 1,19 | 0,94 |
| | Максимум | 0,42 | 1,21 | 1,01 | 0,39 | 1,06 | 1,31 | 1,35 | 1,13 | 1,28 | 1,61 | 1,96 | 0,87 | 1,27 | 0,96 | 1,24 | 0,66 | 1,61 | 1,59 | 1,14 |
| | Минимум | 0,23 | 0,74 | 0,74 | 0,24 | 0,83 | 0,78 | 0,86 | 0,91 | 0,79 | 1,07 | 0,88 | 0,46 | 0,49 | 0,49 | 0,93 | 0,11 | 0,53 | 0,70 | 0,71 |
| Саткинская | Медиана | 0,36 | 0,81 | 1,36 | 0,18 | 0,19 | 0,59 | 0,67 | 0,88 | 0,70 | 0,71 | 1,59 | 0,56 | 0,80 | 0,51 | 1,14 | 0,11 | 1,06 | 0,90 | 0,63 |
| | Максимум | 0,37 | 0,90 | 1,38 | 0,29 | 0,33 | 0,71 | 0,69 | 0,89 | 0,95 | 0,83 | 1,95 | 0,82 | 0,87 | 0,54 | 1,16 | 0,45 | 1,22 | 1,19 | 0,83 |
| | Минимум | 0,34 | 0,76 | 1,26 | 0,15 | 0,17 | 0,57 | 0,64 | 0,83 | 0,57 | 0,69 | 1,32 | 0,51 | 0,78 | 0,50 | 1,11 | 0,10 | 0,92 | 0,75 | 0,53 |
| Бакальская | Медиана | 0,31 | 0,84 | 0,75 | 0,19 | 1,08 | 0,68 | 0,87 | 0,90 | 0,94 | 0,94 | 1,17 | 0,84 | 1,02 | 0,71 | 1,18 | 0,82 | 1,37 | 1,25 | 0,77 |
| | Максимум | 0,58 | 1,09 | 0,94 | 0,41 | 1,22 | 1,00 | 1,00 | 1,05 | 1,26 | 1,16 | 1,33 | 1,12 | 1,33 | 0,81 | 1,91 | 1,04 | 1,63 | 1,60 | 0,94 |
| | Минимум | 0,22 | 0,57 | 0,60 | 0,09 | 0,83 | 0,57 | 0,65 | 0,81 | 0,76 | 0,80 | 0,64 | 0,48 | 0,78 | 0,59 | 1,04 | 0,37 | 1,15 | 1,11 | 0,56 |

жений эталонного разреза рифея Южного Урала и образцы глинистых сланцев из разрезов прикамской, калтасинской и надеждинской свит, вскрытых глубокими скважинами (коллекция М.В. Ишерской, г. Уфа). Определение содержаний элементов-примесей выполнено в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (аналитики Е.С. Шагалов и И.И. Неустроева) на масс-спектрометре ELAN9000. По полученным данным выполнен расчет медианных содержаний, величин стандартных отклонений, а также максимальные и минимальные концентрации крупноионных литофильных (Cs, Ba, Rb, Sr, Pb, Th и U), высокозарядных (Zr, Nb, Y, Hf) и редкоземельных (La, Sm, Yb) элементов и переходных металлов (Cr, Co, Ni, V, Sc, Cu) по отношению к содержаниям названных элементов в среднем постархейском глинистом сланце (РААС) (табл. 1).

Сравнение полученных совокупностей данных показывает следующее.

В тонкозернистых терригенных породах (ТТП) прикамской свиты нормированные на РААС медианные содержания бария, рубидия и тория ниже, чем в ТТП айского уровня, тогда как содержания цезия, бария, рубидия и урана с учетом величин стандартных отклонений сопоставимы (рис. 1, 2). Среди высокозарядных элементов только нормированные на РААС содержания гафния в ТТП прикамского уровня сопоставимы с нормированными на средний постархейский глинистый сланец содержаниями Hf в глинистых сланцах айской свиты, три других входящих в указанную группу элемента характеризуются заметно меньшими медианными величинами $C_{обр}/C_{РААС}$. Нормированное на РААС медианное содержание меди в ТТП прикамского уровня составляет всего $0,31 \times РААС$, однако разброс содержаний меди в частных пробах относительно выбранного для нормирования стандарта весьма значителен, на что указывает существенно большая, чем медиана величина стандартного отклонения для данного элемента (0,92). Медианные значения $C_{обр}/C_{РААС}$ для хрома, никеля и скандия в глинистых сланцах прикамской свиты ниже, чем в сходных по гранулометрии породах айской свиты, тогда как для ванадия и кобальта эти величины сопоставимы. Значения нормированных на РААС содержаний лантана, самария и иттербия в ТТП прикамской свиты ниже, чем в ТТП айского уровня.

Глинистые сланцы и мелкозернистые

алевролиты калтасинской свиты характеризуются несколько иными закономерностями. Среди крупноионных литофилов в ТТП данного уровня по сравнению с ТТП айской свиты мы видим превышение нормированных на РААС медианных содержаний цезия, свинца и урана. Барий и рубидий, напротив, присутствуют в меньших концентрациях, тогда как по нормированным на РААС содержаниям стронция и тория породы саткинской и калтасинской свит сопоставимы. Сопоставимы они и по нормированным на РААС содержаниям высокозарядных элементов. Нормированные на РААС содержания меди в глинистых сланцах и мелкозернистых алевролитах калтасинской свиты варьируют от 0,19 до 1,10, тогда как в ТТП саткинской свиты пределы колебаний величины $C_{обр}/C_{РААС}$ составляют 0,10-0,45. В целом, среди переходных металлов в ТТП саткинской и калтасинской свит сопоставимыми являются только нормированные на РААС содержания кобальта. Эти же параметры для хрома и никеля в ТТП калтасинской свиты ниже, чем в ТТП саткинской свиты, а для Sc мы видим противоположную тенденцию. Медианные содержания самария и иттербия в ТТП калтасинского уровня сопоставимы с теми, что характерны для ТТП саткинской свиты, в то же время величина $C_{обр}/C_{РААС}$ для лантана в ТТП калтасинской свиты составляет $0,70 \pm 0,19$, а в глинистых сланцах саткинской свиты она равна $1,06 \pm 0,12$.

Нормированные на РААС медианные содержания (с учетом значений стандартных отклонений) практически всех крупноионных литофилов и переходных металлов в ТТП надеждинской свиты сопоставимы с их значениями в глинистых сланцах бакальской свиты. По сравнению с последними в ТТП надеждинского уровня можно видеть несколько меньшие $C_{обр}/C_{РААС}$ только циркония, ниобия и лантана.

Если сравнить медианные значения $C_{обр}/C_{РААС}$ для всех рассматриваемых нами групп микроэлементов, то мы увидим, что ТТП прикамской и калтасинской свит характеризуются сходными закономерностями (в них в пониженных относительно РААС и коррелируемых подразделениях эталона рифея концентрации присутствуют барий, рубидий, цирконий, ниобий, хром, никель, скандий и лантан), тогда как для ТТП надеждинской свиты наблюдается понижение только медианных значений $C_{обр}/C_{РААС}$ для циркония, ниобия и лантана. Это, скорее всего, указывает на изменение в конце ранне-

го рифея состава пород на палеоводосборах для сегмента бассейна, располагавшегося в пределах современной Волго-Уральской области.

В целом, нормированные на РААС содержания крупноионных литофильных, высокозарядных и редкоземельных элементов, а также переходных металлов в тонкозернистых терригенных породах нижнего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельской области характеризуются определенными чертами сходства при заметном различии деталей. Последнее, по всей видимости, определялось спецификой состава пород на палеоводосборах и не позволяет в полной мере использовать геохимические данные для корреляции литостратиграфических единиц бурзяния названных областей.

Автор искренне признателен М.В. Ишерской за предоставленные для исследования образцы глинистых сланцев и мелкозернистых алевролитов кыргинской серии нижнего рифея Волго-Уральской области.

Исследования выполнены при финансовой поддержке интеграционного проекта УрО и СО РАН (проект ИП СО РАН 6,6 «Докембрийские осадочные последовательности Урала и Сибири: типы и характер источников сноса, долговременные вариации состава коры, проблема рециклинга») и Программы ОНЗ РАН № 8.

Список литературы

- Гарань М.И. Верхний докембрий (рифей): Стратиграфия // Геология СССР. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1: Геологическое описание. М.: Недра, 1969. С. 149-200.
- Ишерская М.В., Романов В.А. К стратиграфии рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УфНИЦ РАН, 1993. 35 с.
- Крупенин М.Т. Условия формирования сидеритоносной бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 258 с.
- Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Каурова О.К. и др. Rb-Sr и U-Pb систематика осадочных и метасоматических карбонатов бакальской свиты (нижний рифей Южного Урала) // XVI симпозиум по геохимии изотопов им. ак. А.П. Виноградова. Тез. докл. М.: ГЕОХИ РАН, 2001. С. 131-132.
- Лозин Е.В. Тектоническое развитие и перспективы нефтегазоносности рифейских и вендских образований юго-востока Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия, палеонтология и перспективы нефтегазоносности рифейских и вендских отложений восточной части Восточно-Европейской платформы. Ч. 1. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1999. С. 49-54.
- Лозин Е.В., Хасанов В.Х. Сейсмогеологические данные о глубинном строении края платформы и Южного Урала // Геология, геофизика и полезные ископаемые Южного Урала и Приуралья. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991. С. 48-58.
- Маслов А.В., Ишерская М.В. Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования и литофациальная зональность). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 286 с.
- Рабочая схема стратиграфии и корреляции разрезов верхнего протерозоя Западной Башкирии (методические рекомендации) / Н.Н. Лисовский, В.С. Афанасьев, Л.Д. Ожиганова и др. Уфа: БФАН СССР, 1981. 35 с.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т. Разрезы рифея Башкирского мегантиклинория (западный склон Южного Урала). Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 1991. 172 с.
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л. и др. Долговременные вариации состава верхней коры по данным изучения геохимических особенностей глинистых пород позднего докембрия западного склона Южного Урала и Учуро-Майского региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14. № 2. С. 26-51.
- Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Нижнерифейские тонкозернистые алюмосиликокластические осадочные образования Башкирского мегантиклинория на Южном Урале: состав и эволюция источников сноса // Геохимия. 2004. № 6. С. 648-669.
- Романов В.А., Ишерская М.В. К изучению рифейских отложений Западной Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1994. 32 с.
- Романов В.А., Ишерская М.В. Рифей платформенного Башкортостана: стратиграфия, тектоника и перспективы нефтегазоносности. Уфа: Гилем, 2001. 126 с.
- Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области / Е.М. Аксенов, В.И. Козлов. Объяснительная записка. Уфа: ИГ УНЦ РАН, ЦНИИГеолнеруд, БашНИПИНефть, 2000. 81 с.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ЛИТОЛОГИЯ, ГЕОТЕКТОНИКА

Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Роскомнедра, ИГГ УрО РАН, 1993.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Под ред. Б.М. Келлера и Н.М. Чумакова. М.: Наука, 1983. 184 с.

Эльмис Р., Крупенин М.Т., Богатов В.И. и др. Раннесреднерифейский возраст основной генерации диабазовых даек в нижнерифейских породах района Бакала (Южный Урал) // Материалы 2 Всерос. петрограф. совещания. Петрография на рубеже XXI века (итоги и перспективы). Кн. 4. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2000. С. 228-230.