

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА  
И СИБИРИ И ВАРИАЦИИ ЗРЕЛОСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

А.Д. Ножкин, А.В. Маслов\*, В.Н. Подковыров\*\*, О.М. Туркина, Е.Ф. Летникова,  
Ю.Л. Ронкин\*, М.Т. Крупенин\*, Н.В. Дмитриева, Э.З. Гареев\*\*\*, О.П. Лепихина\*

*Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

*\* Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620075, Екатеринбург, Почтовый пер., 7, Россия*

*\*\* Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2, Россия*

*\*\*\* Президиум Уфимского научного центра РАН, 450054, Уфа, просп. Октября, 71, Россия*

Рассмотрен ряд общих и специфических черт эволюции состава тонкозернистых терригенных пород, входящих в состав рифейских осадочных мегапоследовательностей Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа. Установлено, что наиболее зрелым в геохимическом отношении сегментом континентальной коры в рифее являлась кора юго-западной (в современных координатах) периферии Сибирского кратона. Так, тонкозернистые обломочные породы и метапелиты всех литостратиграфических подразделений рифея Енисейского кряжа характеризуются более высокими медианными содержаниями Th в сравнении с наиболее геохимически зрелыми субстратами палеопротерозоя и максимально близкими к ним средними значениями Y и Cr/Th. На Южном Урале и Учуро-Майском регионе отдельные уровни осадочных последовательностей рифея характеризуются медианными содержаниями Y и Th и величинами Cr/Th на уровне примитивных архейских субстратов. Анализ особенностей изменения значений Cr/Th в тонкозернистых терригенных породах всех трех мегапоследовательностей показывает, что минимальные значения Cr/Th, свидетельствующие о преобладании или существенной роли в источниках сноса кислых пород, характерны для глинистых сланцев и метапелитов рифея Енисейского кряжа. Отчетливо проявленный рост значений Cr/Th, а также Cr/Sc в тонкозернистых обломочных породах чингасанской серии кряжа интерпретирован как отражение масштабной деструкции континентальной коры в период формирования во второй половине позднего рифея рифтогенных прогибов, связанных с процессами распада Родинии. Вариации значений Cr/Th в глинистых сланцах и аргиллитах нижнего и среднего рифея Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского региона почти симбатны, что указывает на субглобальный масштаб процессов рифтогенеза, приуроченных в стратотипической местности к началу среднего рифея (так называемое «машакское рифтогенное событие»).

*Рифей, тонкозернистые терригенные породы, геохимия, эволюция состава, зрелость коры, Южный Урал, Учуро-Майский регион, Енисейский кряж.*

GEOCHEMISTRY OF RIPHEAN TERRIGENOUS ROCKS IN THE SOUTHERN URALS AND SIBERIA  
AND VARIATIONS OF THE CONTINENTAL-CRUST MATURITY

A.D. Nozhkin, A.V. Maslov, V.N. Podkovyrov, O.M. Turkina, E.F. Letnikova, Yu.L. Ronkin,  
M.T. Krupenin, N.V. Dmitrieva, E.Z. Gareev, and O.P. Lepikhina

We consider the general and specific features of the evolution of the composition of fine-grained terrigenous rocks in the Riphean sedimentary megasequences of the Southern Urals, Uchur-Maiya region, and Yenisei Ridge. It has been established that the crust on the southwestern (in the modern frame of references) periphery of the Siberian craton was the most mature (in geochemical aspect) segment of the Riphean continental crust. For example, the fine-grained clastic rocks and metapelites of all Riphean lithostratigraphic units of the Yenisei Ridge have higher median contents of Th than the most mature Paleoproterozoic crust, and in the median contents of Y and Cr/Th values they are the most similar to it. In the Southern Urals and Uchur-Maiya region, some units of the Riphean sedimentary sequences show median contents of Y and Th and Cr/Th values close to those of primitive Archean crust. Analysis of Cr/Th variations in the fine-grained terrigenous rocks of all three megasequences shows that the minimum Cr/Th values, evidencing a predominance or the abundance of felsic rocks in provenances, are typical of the Riphean argillaceous shales and metapelites of the Yenisei Ridge. The distinct Cr/Th and Cr/Sc increase in the fine-grained clastic rocks of the Chingasan Group of the ridge reflects the large-scale destruction of continental crust during the formation of rift troughs as a result of the Rodinia breakup in the second half of the Late Riphean. The Cr/Th variations in the Lower and Middle Riphean argillaceous shales and mudstones of the Bashkirian megaanticlinorium and Uchur-Maiya region are nearly sympatric, which evidences the subglobal occurrence of rifting in the early Middle Riphean (so-called "Mashak rifting").

*Riphean, fine-grained terrigenous rocks, geochemistry, composition evolution, crustal maturity, Southern Urals, Uchur-Maiya region, Yenisei Ridge*

## ВВЕДЕНИЕ

Соотношения немобильных и нефракционирующихся в осадочных процессах элементов-примесей в тонкозернистых обломочных породах, под которыми мы понимаем аргиллиты, глинистые сланцы и мелкозернистые глинистые алевролиты и метапелиты — метаморфизованные их аналоги (термины «тонкозернистые обломочные породы», «тонкозернистая алюмосиликокластика», «тонкозернистые терригенные образования» и ряд им подобных рассматриваются нами в данной работе как синонимы), являются достаточно хорошей аппроксимацией их соотношений в верхней континентальной коре [Тейлор, МакЛеннан, 1988; Ронов и др., 1990; Dia et al., 1990; Condie, 1993, 1997]. Анализ присущих тонкозернистым терригенным образованиям содержаний и соотношений некоторых малых элементов позволяет выполнить оценку степени геохимической дифференцированности — зрелости размывавшейся верхней континентальной коры и наметить основные тенденции ее эволюции во времени. По данным, приведенным в работах [Ножкин, 1983, 2004; Коваленко и др., 1987; Хаин, Божко, 1988; Докембрийская геология..., 1988; Condie, 1993], главным показателем «созревания» континентальной коры является увеличение содержания в ней  $K_2O$ . К. Конди [Condie, 1993] считает также, что раннепротерозойская континентальная кора по сравнению с архейской заметно более обогащена Rb, Sr, Ba, Th, Y, Hf, U, Zr, Sc, тогда как содержания Cr, Co, Ni и ряда других элементов в ней были ниже. С учетом того, что Zr, Hf, редкоземельные (РЗЭ), Y, Sc, Th, Nb и ряд других элементов-примесей «...переходят в обломочные осадочные породы практически в тех же концентрациях, в которых они были в коре» [Тейлор, МакЛеннан, 1988, с. 41], изучение геохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород позволяет получить важные данные о направленности эволюции состава крупных сегментов консолидированной континентальной коры — структурных элементов раннедокембрийских кратонов и сопряженных подвижных поясов, являвшихся источниками тонкой алюмосиликокластики при формировании осадочных последовательностей.

Одними из наилучших объектов для такого рода исследований являются, на наш взгляд, наиболее полные на территории СНГ (в границах бывшего СССР) осадочные мегапоследовательности рифея Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий, стратотипический разрез рифея, суммарная мощность ~18000 м), Учуро-Майского региона (гипостратотип рифея, суммарная мощность ~11000 м) и Енисейского кряжа (суммарная мощность ~12000 м) (рис. 1). Слагающие их осадочные образования, за редким исключением, не претерпели существенных литогенетических изменений, а суммарная длительность формирования мегапоследовательностей, включающих в каждом из указанных выше регионов несколько крупных седиментационных серий (рис. 2), варьирует от 500—750 до почти 1000 млн лет.

Основой для наших исследований явился банк прецизионных геохимических данных по более 200 образцам тонкозернистых терригенных пород, проанализированных методом ICP-MS в ИГТ УрО

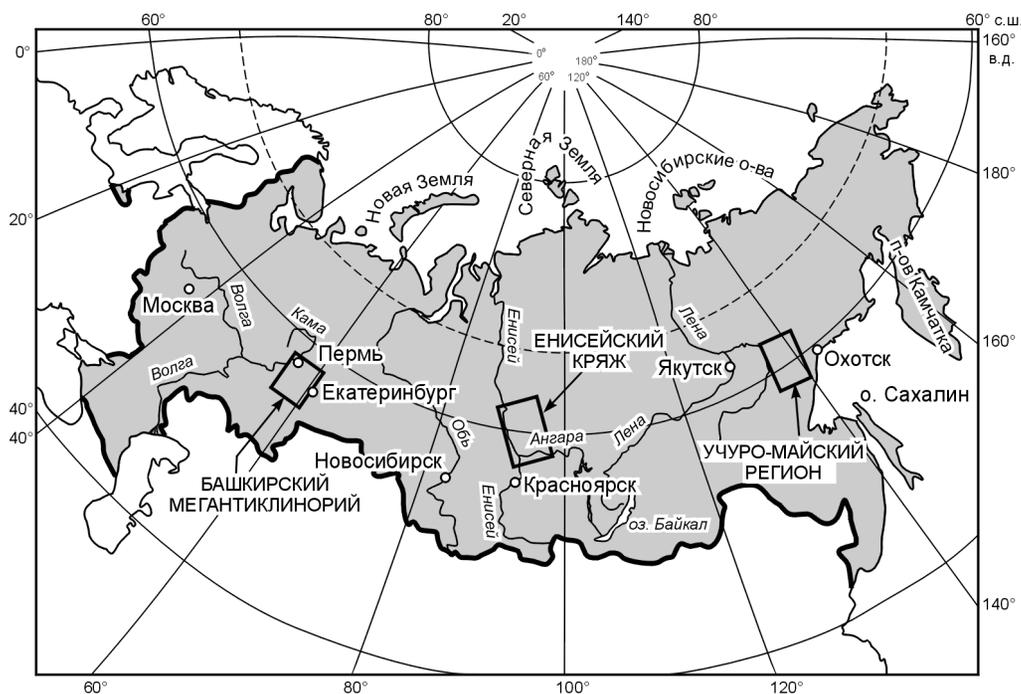
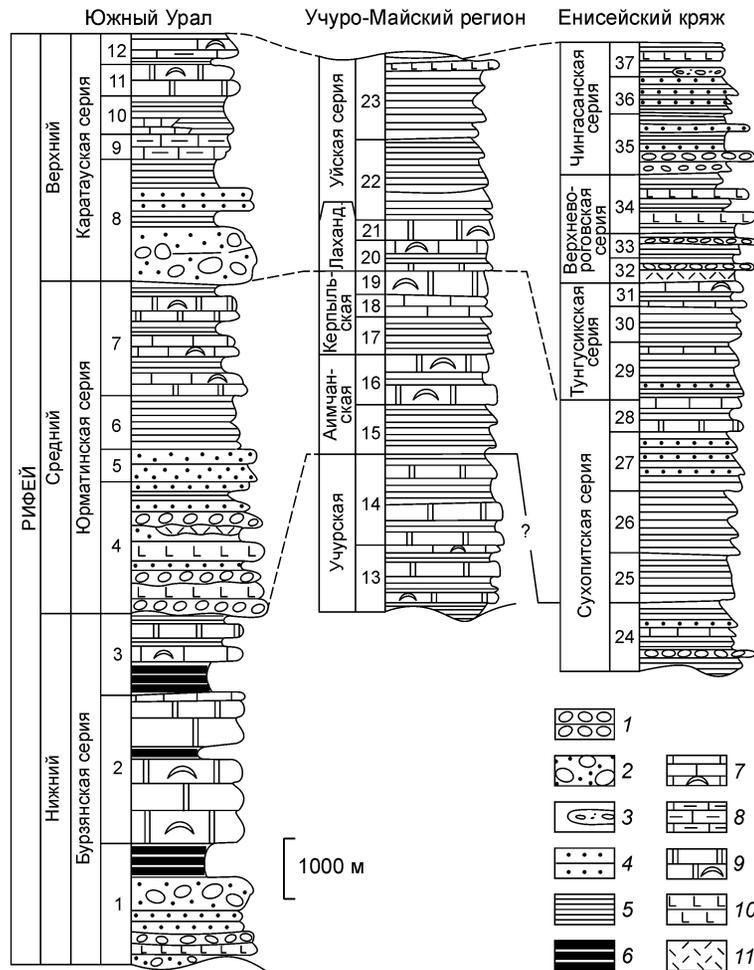


Рис. 1. Расположение регионов развития наиболее полных осадочных мегапоследовательностей рифея на территории России, описываемых в статье.



**Рис. 2.** Сводные разрезы осадочных мегапоследовательностей рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского края.

1 — конгломераты; 2 — редкогалечниковые конгломераты; 3 — тиллитоподобные породы (диамиктиты); 4 — песчаники; 5 — глинистые сланцы и аргиллиты; 6 — низкоуглеродистые глинистые сланцы; 7 — известняки, в том числе строматолитовые; 8 — глинистые известняки и мергели; 9 — доломиты, в том числе строматолитовые; 10 — основные магматические породы; 11 — кислые магматические образования.

1—37 — свиты: 1 — айская; 2 — саткинская; 3 — бакальская; 4 — машакская; 5 — зигальгинская; 6 — зигазино-комаровская; 7 — авзянская; 8 — зильмердакская (данная свита включает снизу вверх бирьянскую, нугушскую, лемезинскую и бедерышинскую подсвиты); 9 — катавская; 10 — инзерская; 11 — миньярская; 12 — укская; 13 — трехгорная; 14 — димская; 15 — талынская; 16 — светлинская; 17 — тоттинская; 18 — малгинская; 19 — цыпандинская; 20 — нуруенская; 21 — игниканская; 22 — кандыкская; 23 — усть-кирбинская; 24 — кординская; 25 — горбилокская; 26 — удерейская; 27 — погорийская; 28 — сосновская; 29 — потоскуйская; 30 — шунтарская; 31 — Серого Ключа; 32 — ковригинская; 33 — оленьинская; 34 — водораздельнинская; 35 — лопатинская; 36 — карьерная; 37 — чивидинская. Лаханд. — лахандинская серия.

РАН, по методике, описанной в [Ронкин и др., 2000; Маслов и др., 2004а,б, 2006б]. Медианные содержания Cr, Th, Y и Sc, а также значения Cr/Th и Cr/Sc и величины их стандартных отклонений для литостратиграфических подразделений всех трех осадочных мегапоследовательностей рифея приведены в табл. 1—3.

#### ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МЕГАПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РИФЕЯ

Разрез рифея западного склона **Южного Урала** является стратотипическим для Северной Евразии [Стратотип..., 1983; Семихатов и др., 1991; и др.]. Он имеет в целом квазициклическое строение и представлен интра- и перикратонными терригенными и карбонатно-терригенными осадочными последовательностями, включающими на ряде уровней вулканиты. Стратотип рифея объединяет три крупные седиментационные серии — бурзянскую, юрматинскую и каратаускую, являющиеся соответственно эталонами нижнего, среднего и верхнего рифея.

Таблица 1. Медианные (г/т) содержания Sc, Y, Th, Cr и значения отношений Cr/Th и Cr/Sc в тонкозернистых терригенных породах рифея Южного Урала

Рифей	Серия	Свита, подсвита	Число проанализированных образцов	Sc	Y	Th	Cr	Cr/Th	Cr/Sc
Нижний	Бурзянская	Айская	6	18.1 ± 1.6	32.3 ± 5.0	14.1 ± 1.2	161.5 ± 41.5	10.9 ± 2.9	8.8 ± 1.9
		Саткинская	6	18.5 ± 4.7	21.9 ± 5.8	14.1 ± 1.5	145.2 ± 47.1	10.3 ± 3.5	7.8 ± 3.2
		Бакальская	6	18.9 ± 1.2	25.7 ± 5.1	16.1 ± 1.2	131.6 ± 8.6	8.1 ± 0.6	7.2 ± 0.7
Средний	Юрматинская	Машакская	6	18.1 ± 4.2	30.4 ± 11.1	11.9 ± 2.7	174.0 ± 106.5	14.6 ± 7.7	8.7 ± 3.9
		Зигальгинская	4	6.6 ± 2.4	14.0 ± 14.0	7.0 ± 4.3	148.4 ± 36.4	21.7 ± 42.4	22.6 ± 6.5
		Зигазино-комаровская	9	13.4 ± 6.0	22.0 ± 8.2	9.8 ± 4.2	132.6 ± 50.5	12.4 ± 2.6	9.1 ± 2.3
		Авзянская	9	16.6 ± 6.7	22.7 ± 9.2	12.3 ± 4.7	139.6 ± 48.6	11.0 ± 7.5	8.5 ± 5.4
Верхний	Каратауская	Бирьянская	9	17.0 ± 6.6	39.9 ± 21.6	18.0 ± 5.2	131.0 ± 88.8	8.9 ± 5.5	8.0 ± 3.9
		Нугушская	5	13.0 ± 1.9	35.3 ± 5.1	12.4 ± 0.9	124.0 ± 11.8	9.7 ± 0.6	9.0 ± 1.0
		Бедерышинская	7	14.9 ± 4.7	38.3 ± 5.0	13.5 ± 2.6	117.5 ± 41.7	8.8 ± 1.3	7.5 ± 1.2
		Катавская	2	19.1 ± 2.3	9.9 ± 2.0	13.9 ± 0.4	132.0 ± 71.3	9.6 ± 5.4	7.2 ± 4.6
		Инзерская	9	16.7 ± 4.4	32.6 ± 7.6	15.7 ± 2.8	107.0 ± 20.5	6.8 ± 1.7	5.9 ± 1.7
		Миньярская	8	9.7 ± 6.5	19.4 ± 6.5	14.9 ± 3.9	97.1 ± 30.4	7.5 ± 1.4	9.5 ± 4.1
		Укская	3	11.2 ± 3.6	21.6 ± 12.1	9.5 ± 5.8	91.2 ± 38.9	9.6 ± 3.0	6.4 ± 2.6

Таблица 2. Медианные (г/т) содержания Sc, Y, Th, Cr и значения отношений Cr/Th и Cr/Sc в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона

Рифей	Серия	Свита	Число проанализированных образцов	Sc	Y	Th	Cr	Cr/Th	Cr/Sc
Нижний	Учурская	Трехгорная	4	12.4 ± 51.5	16.7 ± 3.3	12.6 ± 4.7	123.3 ± 28.1	7.5 ± 6.4	8.4 ± 2.8
		Димская	9	18 ± 3.8	16.0 ± 5.6	11.8 ± 3.6	104.6 ± 27.9	8.9 ± 13.5	6.3 ± 3.9
Средний	Аимчанская	Талынская	8	15.5 ± 4.6	27.9 ± 15.5	12.2 ± 6.3	129.6 ± 35.9	11.4 ± 7.6	9.9 ± 9.3
		Светлинская	5	10.3 ± 3.0	16.3 ± 4.5	7.5 ± 0.8	132.5 ± 32.5	17.3 ± 4.3	11.8 ± 3.1
Верхний	Лахандинская	Керпыльская	10	18.2 ± 7.0	38.9 ± 16.4	16.6 ± 6.1	112.8 ± 38.6	7.2 ± 6.3	6.6 ± 2.0
		Неруенская	9	17.0 ± 8.9	27.6 ± 23.2	17.8 ± 7.7	119.5 ± 32.4	7.1 ± 4.4	7.3 ± 2.5
		Уйская	8	20.0 ± 3.2	38.5 ± 7.1	14.9 ± 3.0	96.9 ± 14.2	6.7 ± 2.3	5.2 ± 1.0

Таблица 3. Медианные (г/т) содержания Sc, Y, Th, Cr и значения отношений Cr/Th и Cr/Sc в тонкозернистых терригенных породах рифея Енисейского кряжа

Рифей	Серия	Свита	Число проанализированных образцов	Sc	Y	Th	Cr	Cr/Th	Cr/Sc	
Нижний—средний	Сухопитская	Кординская	7	16.7 ± 5.1	32.6 ± 7.4	18.6 ± 2.9	117.7 ± 24.3	6.6 ± 0.4	6.9 ± 1.0	
		Горбилоская	8	17.4 ± 3.3	27.2 ± 4.5	18.7 ± 3.8	125.4 ± 15.1	6.5 ± 1.7	7.3 ± 1.3	
		Удере́йская	10	18.5 ± 4.5	34.8 ± 12.3	18.9 ± 5.7	140.6 ± 22.8	8.5 ± 2.5	7.1 ± 2.3	
		Погорюйская	3	15.8 ± 5.6	37.4 ± 11.1	13.0 ± 3.8	135.9 ± 17.1	9.8 ± 1.5	8.6 ± 3.8	
Верхний	Тунгусикская	Сосновская	4	20.5 ± 8.4	38.9 ± 3.5	17.1 ± 0.6	116.8 ± 70.1	6.9 ± 4.3	5.4 ± 1.2	
		Потоскуйская	4	18.0 ± 3.1	35.5 ± 17.8	19.2 ± 4.4	136.1 ± 40.2	7.1 ± 6.5	8.5 ± 2.5	
		Шунтарская	8	18.9 ± 4.7	24.8 ± 16.9	17.8 ± 4.8	145.4 ± 18.7	8.7 ± 3.5	7.7 ± 2.7	
	Верхневороговская	Оленьинская	4	15.4 ± 2.9	30.2 ± 6.9	19.8 ± 1.3	100.9 ± 19.4	5.1 ± 0.7	6.5 ± 0.03	
		Чингасанская	5	13.5 ± 3.4	33.5 ± 5.5	10.6 ± 4.9	138.8 ± 30.9	13.2 ± 6.2	12.5 ± 4.6	
			Карьерная	5	12.5 ± 3.5	35.0 ± 20.7	14.3 ± 2.2	170.9 ± 65.7	13.6 ± 4.9	14.6 ± 5.8
			Чивидинская	5	12.3 ± 3.4	35.3 ± 16.5	13.2 ± 6.7	173.6 ± 78.4	11.4 ± 3.4	15.5 ± 3.3

Бурзянская серия включает три свиты (снизу вверх): айскую, саткинскую и бакальскую. Айская свита (1700—2500 м) залегает с разрывом и угловым несогласием на архейско-нижнепротерозойском тараташском комплексе. В нижней части свиты преобладают песчаники с прослоями гравелитов и конгломератов и покровами метабазальтов ( $1615 \pm 45$  млн лет, классический U-Pb метод по цирконам [Нижний рифей... , 1989]), а в верхней — низкоуглеродистые глинистые сланцы с прослоями доломитов, алевролитов и песчаников. Саткинская свита (до 3000—3500 м) сложена преимущественно доломитами, в том числе строматолитовыми; в средней ее части присутствует 180—200-метровая толща низкоуглеродистых глинистых сланцев с прослоями доломитов и алевролитов, а в верхней — горизонт известняков ( $1550 \pm 30$  млн лет, Pb-Pb метод [Кузнецов и др., 2008]). Бакальская свита (1500—1650 м) представлена в нижней части низкоуглеродистыми глинистыми сланцами с прослоями доломитов и алевролитов, а в верхней — объединяет несколько алюмосиликокластических и карбонатных пачек. Возраст раннего диагенеза известняков самой нижней из них (березовской) составляет  $1430 \pm 30$  млн лет (Pb-Pb метод [Кузнецов и др., 2003]). Изотопный возраст долеритов Главной дайки Бакальского рудного поля, прорывающей отложения бакальской свиты, равен  $1385.3 \pm 1.4$  млн лет (бадделеит, U—Pb метод [Ernst et al., 2006]).

Юрматинская серия объединяет машакскую, зигальгинскую, зигазино-комаровскую и авзянскую свиты. Машакская свита (1600—3000 м) представлена песчаниками, конгломератами и алевролитами с подчиненными им пакетами глинистых сланцев. В нижней и средней ее частях наблюдаются многочисленные силлы долеритов и экструзивные тела дацитов ( $1370 \pm 16$  млн лет, циркон, SHRIMP-II [Ронкин и др., 2007]). Зигальгинская свита (500—700 м) слагается кварцевыми песчаниками с прослоями алевролитов, глинистых сланцев и линзами конгломератов. Зигазино-комаровская свита (750—1500 м) объединяет пакеты и пачки неравномерного переслаивания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Авзянская свита (1600—2300 м) представлена несколькими карбонатными и алюмосиликокластическими толщами. Возраст «минералогически не изученного глауконита»\* из отложений свиты составляет ~1220 млн лет (K-Ar метод [Гаррис и др., 1964; Стратотип... , 1983]).

Каратауская серия на западном крыле и в центральных районах Башкирского мегантиклинория включает зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты. Зильмердакская свита (1500—3000 м) объединяет аркозовые песчаники с прослоями гравелитов, конгломератов и алевролитов (бирьянская подсвита), разнообразные пачки переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев (нугушская и бедерышинская подсвиты), а также толщу кварцевых кварцитовидных песчаников (лемезинская подсвита). Катавская свита (250—400 м) сложена преимущественно красноцветными глинистыми известняками и мергелями. Инзерская свита (100—1000 м) представлена пакетами и пачками переслаивания глауконито-кварцевых песчаников, алевролитов и аргиллитов. В ряде разрезов в ее основании присутствует примерно 200-метровая пачка сероцветных известняков (подинзерские слои). K-Ar возраст минералогически не изученного глауконита из верхней части катавской и инзерской свит составляет соответственно 970—938 и 790—683 млн лет [Гаррис, 1977; Стратотип... , 1983]. Rb-Sr возраст раннедиагенетического иллита из аргиллитов инзерской свиты равен 805—835 млн лет [Gorokhov et al., 1995; Овчинникова и др., 1995]. Время проявления раннего диагенеза в известняках подинзерских слоев датируется в  $836 \pm 25$  млн лет (Pb-Pb метод [Овчинникова и др., 1998]). Миньярская свита (500—800 м) сложена преимущественно доломитами, в том числе строматолитовыми, и подчиненными прослоями алевролитов и аргиллитов. По данным Г.В. Овчинниковой с соавторами [1998], средневзвешенное значение возраста доломитов миньярской свиты составляет  $778 \pm 80$  млн лет (Pb-Pb метод). Укская свита (300—400 м) в нижней части представлена аргиллитами, песчаниками и алевролитами с прослоями известняков и мергелей, а в верхней — преимущественно известняками. Возраст глауконита из песчаников укской свиты составляет  $688 \pm 10$  млн лет (изохронный Rb-Sr метод) и  $670 \pm 10$  млн лет (K-Ar метод) [Горожанин, Кутявин, 1986; Горожанин, 1990]. Для Al-разности глауконита из этого же уровня Rb-Sr методом получен возраст  $664 \pm 11$  млн лет [Зайцева и др., 2000].

Накопление ранне- и среднерифейских осадочных последовательностей типового разреза рифея (бурзянская и юрматинская серии) происходило в сравнительно небольших эпикратонных бассейнах при достаточно спокойном тектоническом режиме и в условиях преимущественно семиаридного/семигумидного климата [Маслов и др., 2001, 2002]. В самом начале раннего и среднего рифея на территории современного Башкирского мегантиклинория и смежного с ним с запада Камско-Бельского прогиба имели место процессы внутриконтинентального рифтогенеза(?), приведшие к появлению в разрезах нижней части айской и машакской свит конгломератов и разнозернистых песчаников, ассоциирующих с основными и кислыми вулканитами. Формирование позднерифейских осадочных образо-

---

\* Под этим термином понимается глауконит, не имеющий мессбауэровских и ЯМР-характеристик, указывающих на его тонкую структуру и пригодность для изотопного датирования.

ваний каратауской серии происходило в условиях преимущественно семиаридного климата в бассейне перикратонного типа, протягивавшемся вдоль всей восточной, северо-восточной и северной периферии Восточно-Европейского кратона [Маслов и др., 2001, 2002; Раабен, 2007]. Основными источниками терригенного материала на протяжении всего рифея являлись, как это следует из анализа состава песчаников и галек конгломератов [Олли, 1948; Акимова, 1964, 1966; Гарань, 1969; Геология..., 1977; Маслов, 1988], а также геохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород [Маслов и др., 2001, 2003, 2004а,б, 2006а], кристаллические комплексы фундамента восточного сегмента Восточно-Европейской платформы (Татарский, Камско-Башкирский и Оренбургский своды).

В **Учуро-Майском регионе** рифейская мегапоследовательность расчленяется на учурскую, аймчанскую, керпыльскую, лахандинскую и уйскую серии. В настоящей работе мы придерживаемся точки зрения о принадлежности учурской серии нижнему, аймчанской и керпыльской серий — среднему, а лахандинской и уйской серий — верхнему рифею [Семихатов, Серебряков, 1983], хотя в литературе существуют и другие представления [Хоментовский и др., 1985; Шенфиль, 1991; Хоментовский, 2007].

Учурская серия объединяет в Учурской впадине гонамскую, омахтинскую и эннинскую свиты, а в пределах перикратонного Юдомо-Майского прогиба, согласно принятой стратиграфической схеме [Семихатов, Серебряков, 1983], — трехгорную и димскую свиты. Анализ геохимических параметров тонкозернистых терригенных пород проводится нами только для отложений Юдомо-Майского прогиба, так как интракратонные осадочные последовательности Учурской впадины недостаточно изучены геохимически.

Трехгорная свита (~1200 м) представлена песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами с прослоями доломитов и известняков, в том числе строматолитовых и онколитовых. Димская свита (1800—2000 м) слагается глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками с подчиненными им прослоями и пачками доломитов. Начало накопления осадочных последовательностей гипостратотипа рифея оценивается в 1600(?)—1520 млн лет [Khudoley et al., 2001]. По данным В.Ю. Шенфиля [1991], К-Аг возраст минералогически не изученного глауконита из песчаников гонамской свиты Учурской впадины составляет 1450—1520 млн лет, а из пород омахтинской свиты — 1360 млн лет.

Аймчанская серия включает талынскую и светлинскую свиты. Талынская свита (750—1200 м) объединяет пакеты и пачки неравномерного переслаивания песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. К-Аг возраст минералогически не изученного глауконита из песчаников данного уровня составляет 1210—1230 млн лет [Семихатов и др., 1973; Шенфиль, 1991]. Светлинская свита (500—1100 м) сложена преимущественно доломитами, в том числе и строматолитовыми, а также низкоуглеродистыми алевролитами и глинистыми сланцами.

Керпыльская серия объединяет тоттинскую, малгинскую и цыпандинскую свиты. Тоттинская свита (600—900 м) представлена глауконит-кварцевыми алевролитами, песчаниками и глинистыми сланцами. К-Аг возраст минералогически не изученного глауконита из тоттинской свиты варьирует от 1170 до 1070 млн лет [Шенфиль, 1991], тогда как возраст наиболее молодой ассоциации обломочных цирконов равен  $1300 \pm 50$ —1115 млн лет [Худолей и др., 1999; А.К. Худолей, устное сообщение, 2008 г.]. Малгинская свита (300—470 м) сложена в основном известняками ( $1043 \pm 14$  млн лет, Pb-Pb метод [Овчинникова и др., 2001]), среди которых наблюдаются как строматолитовые, так и битуминозные разности. В разрезах цыпандинской свиты (300—500 м) преобладают доломиты, в том числе битуминозные.

Лакандинская серия включает две свиты — нуруенскую и игниканскую. Нуруенская свита (650—700 м) сложена аргиллитами, известняками ( $1025 \pm 40$  млн лет, Pb-Pb метод [Семихатов и др., 2000]) и доломитами. В разрезах игниканской свиты (300—330 м) преобладают строматолитовые известняки и доломиты.

Уйская серия объединяет кандыкскую и усть-кирбинскую свиты. Кандыкская свита (900—2000 м) представлена неравномерным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов. В разрезах усть-кирбинской свиты (500—3500 м) также преобладают аломосиликокластические породы. Синхронные времени накопления отложений нижней части уйской серии проявления основного магматизма имеют возраст 1000—975 млн лет (бадделеит, U-Pb метод [Khudoley et al., 2001]).

Развитие Юдомо-Майского перикратонного прогиба после структурной перестройки на рубеже раннего и среднего рифея определялось несколькими, следовавшими одна за другой, трансгрессиями и регрессиями [Нужнов, 1967; Акульшина и др., 1972; Рифейские отложения... 1973; Семихатов, Серебряков, 1983; Вейс, Семихатов, 1989; Вейс, Петров, 1994]. Каждая из четырех седиментационных серий рифея Юдомо-Майского прогиба представляет более или менее отчетливый трансгрессивный или трансгрессивно-регрессивный цикл. Таким циклом, во-первых, является аймчанская серия, в разрезах которой мы видим переход от «сверхмелководных» и мелководно-морских терригенных образований к преимущественно бассейновым карбонатным осадкам. Затем, после кратковременного осушения территории [Семихатов, Серебряков, 1983], началась трансгрессия керпыльского этапа. Последовательность осадочных комплексов этого уровня почти аналогична описанной выше. Если считать, что кардинальные перестройки стиля эволюции бассейнов осадконакопления связаны с появлением в разрезах аллю-

виальных и аллювиально-дельтовых отложений, как это типично для рубежа средний/поздний рифей в Башкирском мегантиклинории, то можно предполагать, что предкерпыльские события существенно затронули общего стиля развития бассейна. Предлахандинский перерыв, не приведший, по данным М.А. Семихатова и С.Н. Серебрякова [1983], к значительному размыву подстилающих образований, также не был, по всей видимости, заметным в палеогеографическом плане. Эволюция средне- и поздне-рифейского бассейнов осадконакопления на территории современного Юдомо-Майского прогиба представляется, таким образом, как последовательность трансгрессивно-регрессивных циклов на общем фоне устойчивого и относительно спокойного прогибания в условиях, близких к платформенным. Активизация тектонических движений в самом начале позднего рифея сопровождалась сравнительно кратковременной эволюцией эпиплатформенного бассейна в умеренно глубоководный рифтогенный прогиб, прекративший свое существование около 940—950 млн лет назад [Подковыров, 2001; Khudoley et al., 2001; Bartley et al., 2001; Подковыров и др., 2003; Худолей, 2003].

В пределах **Енисейского кряжа** позднедокембрийские отложения наиболее широко представлены в Заангарье [Семихатов, 1962; Семихатов, 1974; Постельников, 1980; Шенфиль, 1991; Ножкин, 1997; Легенда..., 1998; Хабаров, 2005]. Характерная черта рифейских отложений — отчетливо выраженная цикличность [Постельников, 1981], послужившая основанием для расчленения разреза на ряд серий, среди которых в центральной зоне Енисейского кряжа выделяются (снизу вверх): сухопитская, тунгусикская, верхневороговская и чингасанская [Легенда..., 1998].

Присутствие нижнерифейских отложений в пределах кряжа дискуссионно [Семихатов, 1962; Семихатов, 1974; Постельников, 1981; Шенфиль, 1991; Хабаров, 1994]. В работах последних лет к раннему рифею относится только кординская свита сухопитской серии, все ее более высокие подразделения рассматриваются как среднерифейские [Легенда..., 1998]. Это в определенной мере подтверждается данными по изотопному составу углерода в карбонатных породах сухопитской, тунгусикской и осянской серий восточной части Енисейского кряжа [Хабаров и др., 1999], а также корреляцией с отложениями центральной части кряжа и Байкитской антеклизы. Возраст последних, на основании хемотратиграфических построений, Ar-Ag и K-Ag данных, варьирует от 1500—1450 до 1000—950 млн лет [Хабаров и др., 2002].

Кординская свита (1300—1600 м) сложена преимущественно филлитизированными биотитсодержащими сланцами; подчиненную роль в ее разрезах играют кварциты, кристаллические известняки, метавулканыты, гравелиты и конгломераты, развитые в нижней части. Горбилокская свита (500—1000 м) представлена зелеными серицит-хлорит-кварцевыми сланцами с магнетитом, включающими горизонты метатупфов основного состава. Удере́йская свита (800—1600 м) объединяет филлитизированные глинистые сланцы, подчиненную роль в ее разрезах играют прослои алевролитов, песчаников и линзы известняков. Погорю́йская свита (600—1500 м) сложена кварцитовидными песчаниками и алевритоглинистыми сланцами. K-Ag возраст минералогически не изученного глауконита из песчаников погорю́йской свиты составляет порядка 1100 млн лет [Шенфиль, 1991]. Завершающая разрез сухопитской серии сосновская свита (250—600 м) представлена пестроцветными известняками, доломитами, песчаниками, глинистыми сланцами и туфогенными породами. Прорывающие отложения тейской и нижних свит сухопитской серий гранитоиды Тейского и Каламинского массивов имеют возраст 866—875 млн лет (циркон, U-Pb метод [Ножкин и др., 1999; Верниковская и др., 2004]).

Тунгусикская серия в центральной зоне Енисейского кряжа объединяет потоскуйскую, шунтарскую и свиту Серого Ключа. Первая из них включает песчаники, алевролиты и глинистые сланцы, в верхней части прослои известняков, в том числе строматолитовых (800—1800 м). K-Ag возраст минералогически не изученного глауконита из коррелируемой с ней красногорской свиты восточной части кряжа равен  $1007 \pm 15$  млн лет [Шенфиль, 1991]. Шунтарская свита сложена аргиллитами, углеродистыми глинистыми сланцами, алевролитами и глинистыми известняками. Мощность ее варьирует от 500 до 1500 м. Свита Серого Ключа (до 500 м) представлена известняками, в том числе строматолитовыми, известково-глинистыми сланцами и алевросланцами. K-Ag возраст минералогически не изученного глауконита из песчаников джурской свиты (восточная зона Енисейского кряжа), сопоставляемой с низами шунтарской свиты, составляет  $924 \pm 40$  млн лет [Шенфиль, 1991].

Верхневороговская серия включает ковригинскую, оленьинскую (конкинскую, степановскую) и водораздельнинскую свиты. В состав ковригинской свиты (400—700 м) входят песчаники, гравелиты, конгломераты, алевросланцы, кислые и основные метавулканыты. Возраст цирконов из кварцевых риолит-порфиров ковригинской свиты составляет  $753 \pm 6$  млн лет (U-Pb метод, SHRIMP-II [Ножкин и др., 2006; Ножкин и др., 2008]). Оленьинская свита (250—400 м) представлена песчаниками, конгломератами и туфогенными пестроцветными алевросланцами. Коррелируемые с ними вулканогенно-осадочные образования конкинской и степановской свит каитьбинской (глушихинской) серии [Легенда..., 1998] прорваны гранитами Глушихинского массива с U-Pb возрастом цирконов  $731 \pm 5$  млн лет [Верниковский, Верниковская, 2006]. Кварцевые фельзит-порфиры верхних горизонтов глушихинской серии имеют

возраст  $717 \pm 15$  млн лет (U-Pb метод, циркон, SHRIMP-II [Обновленные схемы..., 2007]), что, в пределах ошибки, близко возрасту глушихинских гранитов. Лейкограниты Лендахского массива, секущие в том числе и отложения тунгусикской серии, имеют возраст 749—744 млн лет [Верниковская и др., 2003]. Водораздельнинская свита (1000—1200 м) сложена глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками, а также зеленокаменно измененными базальтами, лейкобазальтами и андезитобазальтами.

Чингасанская серия объединяет лопатинскую, карьерную и чивидинскую свиты. Лопатинская свита (до 1000 м) сложена пестроцветными конгломератами, песчаниками, гравелитами, алевролитами и аргиллитами; подчиненную роль в ее разрезах играют доломиты. Карьерная свита (до 800 м) представлена кварцитовидными песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинистыми известняками. Чивидинская свита (400—800 м) сложена песчаниками, алевролитами, аргиллитами, тиллитоподобными породами (диамиктиты), трахибазальтами, трахиандезитами, трахитами и их туфами. Ar-Ag возраст биотита и титан-авгита из субщелочных базальтоидов свиты составляет соответственно  $703 \pm 4$  и  $695 \pm 6$  млн лет [Ножкин, Постников, 2006; Ножкин и др., 2007]. Условно коррелируемая с карьерной и чивидинской свитами горевская свита широкинской серии [Легенда..., 1998] прорвана лейкогранитами Стрелковского массива, имеющими U-Pb возраст  $717 \pm 9$  млн лет [Верниковский, Верниковская, 2006]. Необходимо отметить, что в восточной — приплатформенной зоне Енисейского кряжа выше тунгусикской серии залегают отложения, выделяемые в осянскую серию. Эту серию одни исследователи коррелируют с чингасанской [Легенда..., 1998], а другие размещают ниже ее [Хабаров, 2005; Хоментовский, 2007].

Отложения рифея Енисейского кряжа представлены преимущественно терригенными и терригенно-карбонатными осадочными последовательностями, формировавшимися в основном в приплатформенных и перикратонных обстановках. Для западных разрезов кряжа установлено присутствие офиолитов и известково-щелочных вулканитов [Миронов, Ножкин, 1978], маркирующих существовавшие здесь, вероятно, в конце среднего — начале позднего рифея задуговой бассейн [Обновленные схемы..., 2007], а во второй половине позднего рифея (~700 млн лет назад) энсиалическую вулканическую дугу или активную континентальную окраину [Верниковский и др., 1994, 2001; Ножкин, 1997]. Центральная часть кряжа отличается преобладанием фашиально разнообразных карбонатно-терригенных отложений и развитием в локальных рифтовых прогибах вулканитов. Восточная зона Енисейского кряжа, ограниченная с запада и востока тектоническими швами, амагматична — на протяжении рифея она являлась пассивной окраиной Сибирского кратона. После 880—870 млн лет на территории кряжа был сформирован ряд рифтогенных прогибов [Ножкин, Постников, 2006; Ножкин и др., 2007, 2008]. Более ранние из них развиты в Центральном блоке Заангарья и выполнены вулканогенно-осадочными комплексами верхневороговской (каитьбинской, глушихинской) серии. Поздние прогибы второй половины верхнего рифея сложены в нижней части преимущественно субэвральными грубообломочными пестроцветными, а в верхней — морскими терригенно-карбонатными флишоидными отложениями. Осадочное выполнение этих прогибов (чингасанская, вороговская, осянская и широкинская серии) имеет в пределах кряжа более широкое распространение. Снос кластики в рифее происходил преимущественно с Сибирского кратона, однако существовали и внутрибассейновые источники обломочного (в том числе вулканогенного) материала, поставившие ювенильный базитовый материал.

В целом позднедокембрийская история развития рассматриваемой территории может быть подразделена на ряд стадий с различными типами седиментационных бассейнов [Постельников, 1990; Ножкин, 1997; Хабаров и др., 2004]. На инициальной рифтогенной стадии преобладали пологие депрессии с терригенно-карбонатным осадконакоплением. Следующая стадия характеризовалась деструкцией шельфовых зон, интенсивным растяжением коры и накоплением гемипелагических осадков с прослоями дистальных турбидитов. Конец ее совпадает с интенсивной проградацией в бассейн мелководных шельфовых отложений. Для интервала 1.10—0.86 млрд лет характерно существование отчетливого латерального ряда обстановок — от карбонатных платформ на востоке к бассейновым и склоновым на западе; в последних в локальных зонах растяжения, вероятно, существовали вулканические постройки. В дальнейшем (0.86—0.60 млрд лет) формировался складчато-надвиговой ороген с поднятием территории, размывом рифейских отложений и последующим неоднократным развитием рифтовых бассейнов и пояса форландовых прогибов [Ножкин и др., 2007, 2008].

Суммируя все сказанное выше, следует подчеркнуть, что длительность формирования крупных седиментационных серий, приуроченных к интра- и перикратонным депрессиям, и контролировавшие процессы накопления слагающих их осадочных ассоциаций геологические события в рассматриваемых нами регионах были различны не только в рифее в целом, но и на различных его этапах. Так, рифтогенно-депрессийная вулканогенно-осадочная последовательность бурзянской серии Башкирского мегантиклиниория практически полностью исчерпывает по времени объем раннего рифея, т.е. накапливалась примерно на протяжении 250 млн лет (1635—1380 млн лет). Длительность перерыва между формированием осадочных образований раннего и среднего рифея в стратотипической местности составляет порядка 15 млн лет [Ронкин и др., 2007]. Примерно такая же по последовательности событий, но существенно иная по составу

и генезису слагающих ее отложений, среднерифейская вулканогенно-осадочная юрматинская серия сформировалась в течение ~150 млн лет (1370—1220—1200 млн лет). Между ней и залегающей выше каратауской серией верхнего рифея предполагается существование перерыва длительностью около 80—100 млн лет [Маслов и др., 2001]; это свидетельствует, что осадочные образования юрматинской серии не исчерпывают всего объема среднего рифея. Формирование осадочных последовательностей каратауской серии, не содержащих в своих разрезах вулканитов, происходило примерно на протяжении 250 млн лет (1000—980—670—660 млн лет), и связано с развитием крупного (более 2000 км) перикратонного прогиба [Маслов и др., 2001, 2002]. Выполняющие его осадочные образования накапливались в течение двух стадий — ранней квазирифтогенной (бирьянское время) и поздней шельфовой (катавско-укское время) [Maslov, 2004]. В результате выполненных в последние годы хемотратиграфических исследований стратотипического разреза рифея показано, что в разрезах миньярской свиты отсутствуют интервалы с высокими положительными значениями  $\delta^{13}\text{C}$ , характерными для самых верхних уровней каратавия на других континентах. Изотопно-геохронологические данные, результаты изучения строматолитов и оценки длительности формирования полифациальных отложений каратауской серии с учетом данных о средних скоростях накопления различных типов осадков позволили оценить продолжительность преддукского перерыва примерно в 80 млн лет [Кузнецов и др., 2006].

Три верхние осадочные серии рифея Учуро-Майского региона (за исключением уйской) не содержат в своих разрезах субсинхронных вулканитов и по общим особенностям строения являются, как было отмечено выше, типичными трансгрессивно-регрессивными комплексами, т.е. механизм их формирования и масштаб связанных с ними геологических событий были несколько иными, нежели это характерно для рифтогенно-депрессийных последовательностей нижнего и среднего рифея Башкирского мегантиклинория. Темпы формирования отложений аимчанской, керпыльской, лахандинской и уйской серий осадочных серий были также существенно иными, чем темпы накопления осадочных последовательностей близких по возрасту серий типового разреза рифея. Следовательно, сравнивать напрямую запечатленные в геохимических особенностях входящих в их состав тонкозернистых терригенных образований основные черты эволюции состава размывавшихся крупных сегментов верхней континентальной коры — значит получить в значительной мере некорректные выводы. Формирование осадочных образований тунгусикской, верхневороговской и чингасанской серий Енисейского кряжа происходило, по всей видимости, еще быстрее — в течение только позднего рифея и можно предполагать, что указанные серии несопоставимы с позднерифейской каратауской серией Южного Урала по «масштабу» и типам связанных с ним геологических событий.

#### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВЫ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ РИФЕЯ

Среди исследованной нами выборки преобладают кварц-гидрослюдистые и хлорит-гидрослюдистые глинистые сланцы и аргиллиты с той или иной долей каолинита и смешанослойных образований. Количество зерен кварца и полевых шпатов алевритовой размерности не превышает в них, как правило, 5—15 %. В разрезах кординской свиты нижнего рифея Енисейского кряжа исходно глинистые породы, как было указано выше, представлены преимущественно филлитизированными биотитсодержащими сланцами, а в составе горбилонской свиты значительная роль принадлежит зеленым (серицит-хлоритовым) сланцам.

Для геохимического изучения нами были выбраны образцы тонкозернистых обломочных образований, фигуративные точки составов которых на диаграмме  $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  [Herron, 1988] локализованы преимущественно в области глинистых сланцев и в редких случаях в области вакк.

На диаграмме НКМ—ФМ [Юдович, Кетрис, 2000] большинство фигуративных точек глинистых сланцев рифея Южного Урала расположено в полях V и VI, что указывает на доминирование среди них стандартных трехкомпонентных (хлорит + монтмориллонит + гидрослюда) глинистых пород с той или иной примесью тонкодисперсных полевых шпатов. Медианное значение химического индекса выветривания  $\text{CIA} = 100 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  составляет для тонкозернистых терригенных образований рифея Южного Урала ~66 [Маслов и др., 2008], что указывает на формирование их в обстановках семигумидного/семиаридного климата.

Область фигуративных точек составов глинистых сланцев рифея Учуро-Майского региона на диаграмме НКМ—ФМ примерно повторяет конфигурацию области исходно глинистых пород рифея Южного Урала (поля II, V и VI). В целом для глинистых пород рифея Учуро-Майского региона медианная величина CIA составляет ~70 [Маслов и др., 2008].

Точки составов глинистых сланцев рифея Енисейского кряжа на диаграмме НКМ—ФМ расположены в основном в полях II (монтмориллонит + каолинит + гидрослюда) и V (хлорит + монтмориллонит + гидрослюда) [Маслов и др., 2008]. Медианная величина CIA для тонкозернистых терригенных пород

всего разреза рифея Енисейского кряжа составляет ~72, что указывает на преобладание на палеоводосборах почти на всем протяжении рифея гумидного или близкого к нему климата.

### СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ И ИХ ОТНОШЕНИЯ В ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОДАХ РИФЕЯ КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТАВА И ЗРЕЛОСТИ РАЗМЫВАВШЕЙСЯ ВЕРХНЕЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

В рамках настоящей работы мы предприняли попытку оценить изменение с течением времени состава и степени зрелости крупных сегментов континентальной коры, являвшихся источниками обломочного материала для осадочных мегапоследовательностей рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа. В качестве основного инструмента исследований было выбрано сопоставление ряда геохимических параметров тонкозернистых терригенных пород, таких как содержания Cr, Th, Y и Sc, а также значения отношений Cr/Th и Cr/Sc, с рассчитанными К. Конди [Condie, 1993] значениями этих же параметров в ранне- (>3.5 млрд лет) и позднеархейской (3.5—2.5 млрд лет), а также палеопротерозойской (2.5—1.6 млрд лет) континентальной верхней коре. Выбор указанных элементов и отношений продиктован двумя обстоятельствами: 1) все они являются слаборастворимыми в воде и, следовательно, их содержания и соотношения в размывающихся на палеоводосборах породах должны почти без изменений переходить в состав осадков; 2) содержания этих элементов и значения их отношений в верхней континентальной коре архея и палеопротерозоя достаточно сильно различаются, что позволяет наглядно представить на приводимых далее диаграммах основной тренд изменения состава и зрелости коры и сопоставить с ним особенности изменения состава тонкой алюмосиликокластики.

Шаг сопоставления был выбран равным эратеме (нижний, средний, верхний рифей), таким образом мы попытались избежать неопределенностей, связанных с различной мощностью осадочных серий (см. выше).

По данным К. Конди [Condie, 1993], в верхней континентальной коре с возрастом более 3.5 млрд лет содержания Y и Th составляют 18 и 7.5 г/т, а значения отношений Cr/Th и Cr/Sc равны соответственно 38 и 22, тогда как континентальная кора конца палеопротерозоя (1.8—1.6 млрд лет) характеризуется содержаниями Y и Th, равными 32 и 10.4 г/т, при значениях отношений Cr/Th и Cr/Sc — 5.7 и 4.1 (табл. 4).

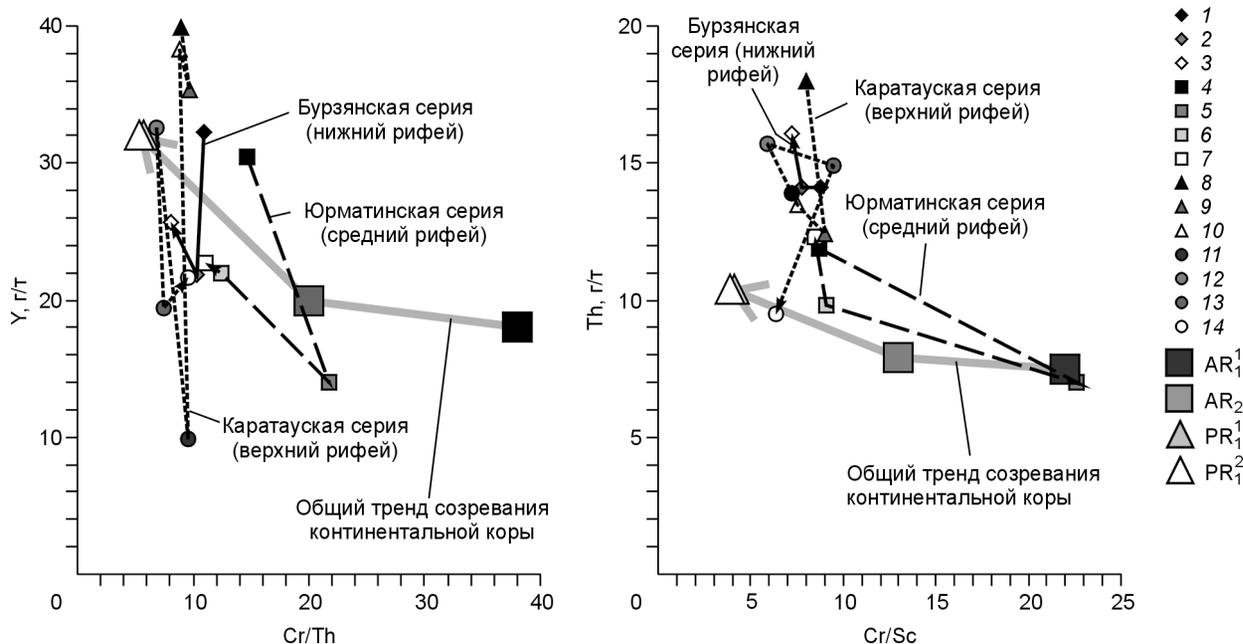
**Южный Урал.** В глинистых сланцах различных литостратиграфических единиц рифея Башкирского мегантиклинория медианное содержание (в настоящей работе, как и ранее, при анализе ограниченных по объему аналитических выборок, мы используем медианные значения содержаний и отношений тех или иных оксидов и элементов, так как данный статистический параметр позволяет дать обобщенную оценку выборок с неизвестным характером распределения [Rock et al., 1987]) Y варьирует от ~10 до почти 40 г/т (рис. 3), что не позволяет более или менее точно судить по данному индикатору о степени зрелости размывавшейся на палеоводосборах коры. Максимальный разброс его медианных содержаний характерен для тонкозернистых терригенных пород верхнерифейской каратауской серии, минимальный — для отложений бурзянской серии раннего рифея. Показательно, что глинистые сланцы базальных уровней каждой из трех серий типа рифея характеризуются весьма высокими и достаточно близкими медианными содержаниями Y (~32—40 г/т) (см. табл. 1—3), тогда как тонкозернистые обломочные породы верхних горизонтов этих серий имеют заметно меньшие медианные содержания названного элемента (бакальская свита —  $25.7 \pm 5.1$ , авзянская свита —  $22.7 \pm 9.2$ , укская свита —  $21.6 \pm 12.1$  г/т).

Медианные значения отношения Cr/Th в глинистых сланцах бурзянской и каратауской серий достаточно близки (7.5—11) и соответствуют тем, что характерны для весьма зрелой континентальной коры конца палеопротерозоя. Тонкозернистые терригенные породы среднерифейской юрматинской серии имеют более высокие значения Cr/Th (11—22). Это позволяет считать их продуктами размыва несколько менее зрелых субстратов.

Близкая картина вырисовывается и при рассмотрении положения медианных точек составов глинистых пород эталонного разреза рифея на диаграмме Cr/Sc—Th (см. рис. 3). Здесь тонкозернистые обломочные образования бурзянской серии раннего и каратауской серии позднего рифея имеют медианные значения Cr/Sc, типичные для достаточно зрелой палеопротерозойской коры. Содержания Th в них

Таблица 4. Средние содержания Sc, Y, Th, Cr (г/т) и значения отношений Cr/Th и Cr/Sc в континентальной коре различного возраста, по [Condie, 1993]

Возраст верхней континентальной коры, млрд лет	Sc	Y	Th	Cr	Cr/Th	Cr/Sc
>3.5	13.1	18	7.5	286	38	22
3.5–2.5	12.5	20	7.9	161	20	13
2.5–1.8	14.5	32	10.4	59	5.7	4.1
1.8–1.6	14.1	32	10.4	55	5.3	3.9



**Рис. 3.** Вариации отношений Cr/Th и Cr/Sc и содержаний Y и Th (здесь и на рис. 4, 5 — медианные значения) в глинистых сланцах различных литостратиграфических единиц рифея Южного Урала.

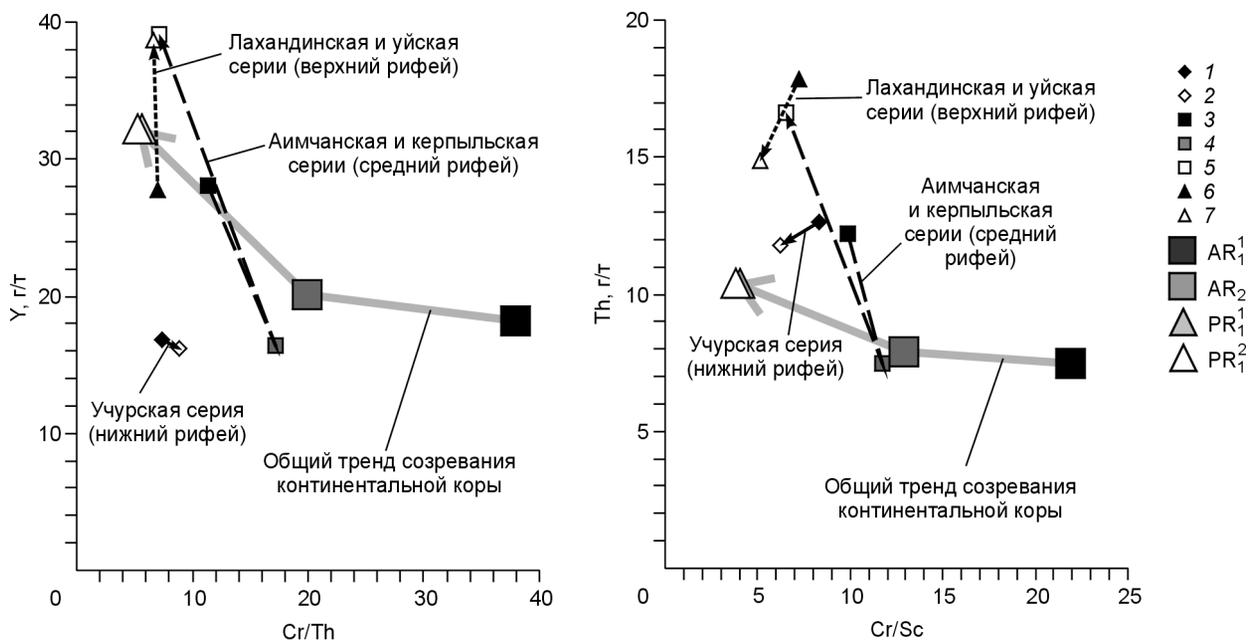
Данные для континентальной коры различного возраста для рис. 2—4 заимствованы из работы [Condie, 1993].

Свиты и подсвиты: 1 — айская; 2 — саткинская; 3 — бакальская; 4 — машакская; 5 — зигальгинская; 6 — зигзино-комаровская; 7 — авзянская; 8 — бирьянская; 9 — нугушская; 10 — бедерьшинская; 11 — катавская; 12 — инзерская; 13 — миньярская; 14 — укская. AR<sub>1</sub> — ранний архей (>3.5 млрд лет); AR<sub>2</sub> — поздний архей (3.5—2.5 млрд лет); PR<sub>1</sub> — ранний палеопротерозой (2.5—1.8 млрд лет); PR<sub>2</sub> — поздний палеопротерозой (1.8—1.6 млрд лет).

примерно в 1.5 раза выше, чем это указывается К. Конди [Condie, 1993], для позднепалеопротерозойской континентальной коры (~10.4 г/т). Тонкозернистые терригенные породы зигальгинской свиты юрматинской серии среднего рифея отличаются от аналогичных по гранулометрии образований двух других серий типового разреза исключительно высокими, характерными для раннеархейской континентальной коры, значениями Cr/Sc (~21.7) и одновременно минимальным медианным содержанием Th (7.0 ± 4.3 г/т). В то же время исходно глинистые породы всех уровней юрматиния (за исключением зигальгинского) характеризуются содержаниями Th, близкими или лишь немного превосходящими те, что свойственны, по данным К. Конди, для верхней континентальной коры палеопротерозоя [Condie, 1993].

**Учуро-Майский регион.** Тонкозернистые терригенные породы гипостратотипа рифея по величине Cr/Th занимают промежуточное положение между континентальной корой позднего архея и палеопротерозоя, но все же более близки к продуктам размыва последней (рис. 4). При этом минимальные значения указанного параметра характерны для глинистых сланцев нижней части учурской серии, а также тонкозернистых терригенных пород тоттинской свиты (низы керпыльской серии), неруенской свиты основания лахандинской серии и усть-кирбинской свиты верхов уйской серии. По всей видимости, именно в это время на палеоводосборах, окружавших существовавший в пределах современного Учуро-Майского региона бассейн осадконакопления, доминировала достаточно зрелая континентальная кора. Данный вывод подтверждается и весьма высокими медианными содержаниями тория в тонкозернистых терригенных породах перечисленных выше уровней гипостратотипа рифея. Вместе с тем в аргиллитах талынской свиты выявлена положительная (относительно PAAS) Eu-аномалия, а спектры РЗЭ сходны с теми, что типичны для примитивных в геохимическом отношении архейских аргиллитов. Учитывая данные о Nd-модельных возрастах тонкозернистых терригенных пород этого уровня можно предполагать, что в начале среднего рифея размыв затрагивал достаточно глубокие горизонты континентальной коры [Подковыров и др., 2002]. Глинистые сланцы, присутствующие среди карбонатных пород на малгинском уровне, характеризуются заметным дефицитом легких редкоземельных элементов (РЗЭ), что, как правило, присуще для продуктов размыва пород основного состава.

Заметно различаются глинистые сланцы седиментационных серий гипостратотипа рифея по содержанию Y. Наиболее низкие его медианные концентрации (~16—17 г/т) присущи глинистым породам раннерифейской учурской серии. Глинистые сланцы талынской, светлинской и тоттинской свит аимчан-



**Рис. 4.** Вариации отношений  $Cr/Th$  и  $Cr/Sc$  и содержаний  $Y$  и  $Th$  в тонкозернистых терригенных породах различных литостратиграфических уровней рифея Учуро-Майского региона.

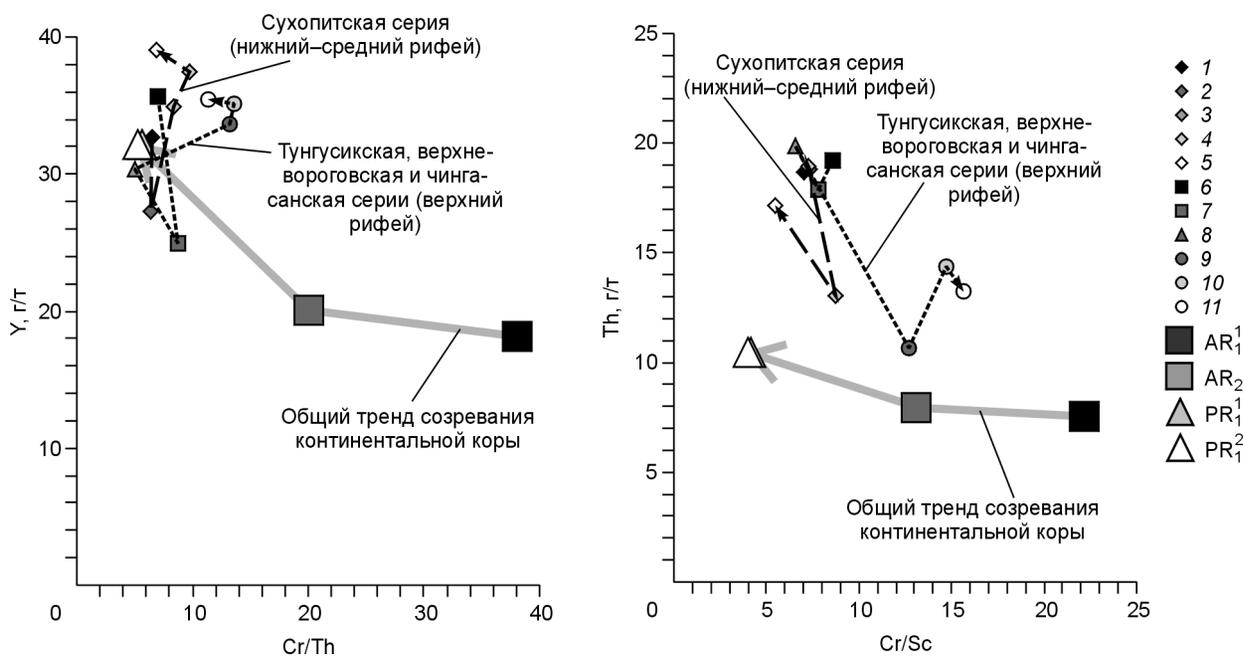
Свиты: 1 — трехгорная; 2 — димская; 3 — талынская; 4 — светлинская; 5 — тоттинская; 6 — нуруенская; 7 — усть-кирбинская. Остальные усл. обозн. см. на рис. 3.

ской и низов керпыльской серий характеризуются большой дисперсией содержаний  $Y$  (соответственно  $27.9 \pm 15.5$ ,  $16.3 \pm 4.5$  и  $38.9 \pm 16.4$  г/т). Тонкозернистые обломочные породы усть-кирбинской свиты уйской серии верхнего рифея имеют медианное содержание названного элемента ( $38.5 \pm 7.1$  г/т) сопоставимое с содержанием его в глинистых сланцах тоттинской свиты.

Отношение  $Cr/Sc$  в тонкозернистых терригенных породах рифея Учуро-Майского региона имеет промежуточные, между типичными для коры позднего архея и конца палеопротерозоя, значения (см. рис. 4); только в глинистых сланцах светлинской свиты аимчанской серии медианная величина этого параметра ( $11.8 \pm 3.1$  г/т) почти соответствует значению, приводимому К. Конди для континентальной коры позднего архея ( $\sim 13$  г/т) [Condie, 1993].

Тонкозернистые обломочные породы всех уровней гипостратотипа рифея, за исключением светлинского, характеризуются также более высокими медианными содержаниями  $Th$ , чем указано в работе [Condie, 1993] для континентальной коры позднего палеопротерозоя. Хорошо вырисовывается и увеличение медианного содержания  $Th$  в глинистых сланцах к середине среднего рифея (тоттинский уровень,  $16.6 \pm 6.1$  г/т). Высокие медианные содержания  $Th$  характерны также для тонкозернистых обломочных пород нуруенской свиты лахандинской серии ( $17.8 \pm 7.7$  г/т) и усть-кирбинской свиты ( $14.9 \pm 3.0$  г/т) уйской серии.

**Енисейский кряж.** Исходно глинистые породы рифея Енисейского кряжа характеризуются весьма низкими значениями  $Cr/Th$ , варьирующими от  $5.1 \pm 0.7$  (оленьинская свита верхневороговской серии) до  $13.6 \pm 4.9$  (карьерная свита чингасанской серии) (рис. 5). По величине этого параметра они сходны с продуктами размыва зрелых позднепалеопротерозойских субстратов. Содержания  $Y$  в метапелитах большинства свит рифея Енисейского кряжа ( $24.8 \pm 16.9$ — $38.9 \pm 3.5$  г/т) близки к тем, что характерны, по данным К. Конди [Condie, 1993], субстратам раннего и позднего протерозоя ( $32$ — $31$  г/т). В сравнении с рифейскими мегапоследовательностями Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского района дисперсия распределения  $Y$  в разрезе Енисейского кряжа несколько ниже (соответственно  $9.9 \pm 2.0$ — $39.9 \pm 21.6$ ,  $16.3 \pm 4.5$ — $38.5 \pm 7.1$  и  $24.8 \pm 16.9$ — $38.9 \pm 3.5$  г/т), хотя максимальные медианные содержания  $Y$ , как следует из приведенных данных, почти идентичны. Для тонкозернистых обломочных пород чингасанской серии дисперсия медианных содержаний  $Y$  практически отсутствует (лопатинская свита —  $33.5 \pm 5.5$ , карьерная свита —  $35.0 \pm 20.7$ , чивидинская свита —  $35.3 \pm 16.5$  г/т), и по данному параметру рассматриваемые образования сопоставимы с типичными протерозойскими субстратами.



**Рис. 5. Вариации отношений Cr/Th и Cr/Sc и содержаний Y и Th в метапелитах и глинистых сланцах различных литостратиграфических подразделений рифея Енисейского края.**

Свиты: 1 — кординская; 2 — горбилоская; 3 — удерейская; 4 — погорюйская; 5 — сосновская; 6 — потоскуйская; 7 — шунтарская; 8 — оленьинская; 9 — лопатинская; 10 — карьерная; 11 — чивидинская. Остальные усл. обозн. см. на рис. 3.

По величине отношения Cr/Sc тонкозернистые терригенные породы сухопитской, тунгусикской и верхневороговской серий достаточно сходны между собой (соответственно  $5.4 \pm 1.2$ —  $8.6 \pm 3.8$ ,  $7.7 \pm 2.7$ — $8.5 \pm 2.5$  и  $\sim 6.5$ ) (см. рис. 5). Глинистые сланцы и аргиллиты завершающей разрез рифея Енисейского края чингасанской серии характеризуются существенно более высокими медианными отношениями Cr/Sc. Так, для глинистых сланцев лопатинской свиты величина данного параметра составляет  $12.5 \pm 4.6$ , для тонкозернистых обломочных пород карьерной свиты значение Cr/Sc составляет  $14.6 \pm 5.8$ , а аналогичные по гранулометрии породы чивидинского уровня имеют медианные значения Cr/Sc  $\sim 15.5 \pm 3.3$ .

Несколько более высокими, чем в палеопротерозойских субстратах (10.4 г/т), являются содержания Th в метапелитах и глинистых породах рифея Енисейского края. Максимально высокое медианное содержание Th ( $19.8 \pm 1.3$  г/т) характерно для тонкозернистых терригенных пород оленьинского уровня. Почти такие же медианные содержания Th типичны для метапелитов кординской, горбилоской и удерейской свит сухопитской серии, минимальное ( $\sim 11$  г/т) присуще породам лопатинской свиты чингасанской серии. В целом для разреза рифея Енисейского края медианное содержание Th в тонкозернистых терригенных образованиях равно  $17.5 \pm 4.6$  г/т, тогда как для глинистых пород рифея Учуро-Майского региона этот параметр составляет  $12.5 \pm 5.5$  г/т, а для глинистых сланцев и аргиллитов стратотипа рифея —  $13.6 \pm 4.1$  г/т. Если рассматривать содержание в осадочных породах Th как индикатор степени зрелости размывавшейся на палеоводосборах континентальной коры, как это было ранее предложено [Ножкин, 1983, 2004; и др.], то из сказанного выше можно сделать вывод о существовании максимально зрелой верхней континентальной коры на юго-западной (в современных координатах) периферии Сибирского кратона в начале сухопитского, а также на протяжении тунгусикского и верхневороговского времени. Это также согласуется с низкими значениями отношений Cr/Th и Cr/Sc. Вариации степени зрелости коры по данному параметру наблюдаются во время формирования осадочных мегаследовательностей рифея и в двух других рассматриваемых нами регионах. Так, глинистые породы среднерифейской юрматинской серии западного склона Южного Урала характеризуются существенно более низкими медианными содержаниями Th и соответственно более высокими — Cr/Sc и Cr/Th, чем это присуще ниже- и вышележащим тонкозернистым обломочным образованиям. В Учуро-Майском регионе медианное содержание Th в глинистых сланцах и аргиллитах растет вверх по разрезу, что как будто бы свидетельствует в пользу предположения о росте зрелости размывавшейся верхней коры к началу позднего рифея, однако, параллельно в тонкозернистых обломочных породах происходит заметное снижение

значений La/Sc и Th/Sc (за счет резкого роста Sc!) при умеренном росте Eu/Eu\*, что, по данным В.Н. Подковырова с соавторами [2002], является отражением масштабного рифтогенного события, проявившегося на рассматриваемой территории в самом начале позднего рифея. Это событие привело к деструкции континентальной коры и сравнительно очень быстрому накоплению магматических и терригенных пород уйской серии. В пользу такой трактовки свидетельствует и характер изменения в тонкозернистых обломочных породах снизу вверх по разрезу рифея Учуро-Майского региона значений легких/тяжелых РЗЭ и  $La_N/Yb_N$  [Подковыров, Маслов, 2006]. Отношение легких/тяжелых РЗЭ в глинистых сланцах трехгорной, димской, талынской и светлинской свит варьирует от 13.4 до 10.5, что типично для составов, сформированных за счет размыва зрелых субстратов. В глинистых породах более высоких уровней гипостратотипа рифея величина легких/тяжелых РЗЭ начинает снижаться и в аргиллитах усть-кирбинской свиты составляет ~5—7, что характерно для пород, образованных за счет размыва в основном базитовых субстратов. Аналогичным образом в тонкозернистых терригенных породах вверх по разрезу рифея Учуро-Майского региона изменяется и величина  $La_N/Yb_N$ .

### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализируя приведенные данные, можно наметить ряд общих и специфических черт эволюции состава тонкозернистых терригенных пород, входящих в состав рифейских осадочных мегапоследовательностей Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа.

Так, минимальный разброс содержаний Y и максимальная близость их к содержанию Y в верхней континентальной коре палеопротерозоя характерны для тонкозернистых обломочных пород рифея Енисейского кряжа, тогда как отдельные уровни осадочных мегапоследовательностей рифея Южного Урала и Учуро-Майского региона характеризуются медианными содержаниями Y на уровне примитивных архейских субстратов. Это же можно сказать и о значениях отношения Cr/Th в глинистых сланцах и метапелитах Енисейского кряжа. Подавляющее число фигуративных точек медианных составов тонкозернистых терригенных образований сухопитской, тунгусикской, верхневороговской и чингасанской серий локализовано вблизи значений Cr/Th, характеризующих геохимически зрелую верхнюю кору палеопротерозоя. Весьма интересно, что в Башкирском мегантиклинории и Учуро-Майском регионе глинистые породы ряда уровней среднего рифея (зигальгинская и светлинская свиты) сопоставимы по величине Cr/Th с позднеархейскими субстратами, что свидетельствует о поступлении в бассейн седиментации базитового (фемического) материала.

Возвращаясь к анализу вариаций медианных содержаний Y в глинистых породах раннего, среднего и позднего рифея, следует подчеркнуть общую для них особенность, а именно — после начала каждого из указанных крупных этапов содержание Y резко падает, а к финальным стадиям либо несколько увеличивается, либо достигает заметно больших значений. Примерами первой эволюционной линии являются все три осадочные серии типового разреза рифея, примерами второй — айманская и керпильская серии среднего рифея Учуро-Майского региона, сухопитская серия нижнего(?)—среднего рифея и тунгусикско-верхневороговско-чингасанская последовательность верхнего рифея Енисейского кряжа. Для тонкозернистых обломочных образований всех литостратиграфических подразделений рифея Енисейского кряжа характерны более высокие, нежели в палеопротерозойских субстратах, медианные содержания Th, тогда как глинистые сланцы среднерифейских зигальгинской (Южный Урал) и светлинской (Учуро-Майский регион) свит имеют медианные содержания тория, сопоставимые с теми, что типичны, по данным К. Конди [Condie, 1993], для ранне- и позднеархейских субстратов соответственно. Это хорошо коррелирует с описанными выше особенностями распределения Y и достаточно определенно указывает на большую, в целом, зрелость субстратов, служивших источниками тонкой алюмосиликокластики для тонкозернистых терригенных пород рифея Енисейского кряжа. Повышенные содержания Th наблюдаются в верхних сериях Учуро-Майского района, начиная с керпильской. Вместе с тем от лахандинской к уйской серии верхнего рифея Учуро-Майского региона наблюдается снижение медианных содержаний Th вверх по разрезу, что, на наш взгляд, является отражением процессов рифтогенной деструкции коры. Та же тенденция характерна для формировавшихся на протяжении значительно большего отрезка времени верхнерифейских отложений Енисейского кряжа. И здесь снижение медианных содержаний Th связано, скорее всего, с процессами рифтогенеза и выведением на поверхность существенно менее зрелых субстратов. Параллельно с этим в глинистых породах тунгусикской и особенно чингасанской серий резко возрастают медианные значения Cr/Sc, достигая уровней, характерных для архейских субстратов. Если для пород тунгусикской серии величина данного параметра имела промежуточное значение между палеопротерозойскими и позднеархейскими субстратами, то тонкозернистая алюмосиликокластика карьерной и чивидинской свит чингасанской серии сформирована, очевидно, за счет еще менее зрелых субстратов. Существенное снижение медианных содержаний Th обнаруживается и для тонкозернистых терригенных пород верхнерифейской каратауской серии, хотя по геологическим данным каких-либо свидетельств проявления процессов рифтогенеза на территории западного склона Южного Урала как

будто бы нет (единственное исключение из сказанного — аршинская вулканогенно-осадочная последовательность, ~677 млн лет, локализованная на восточном крыле Башкирского мегантиклинория).

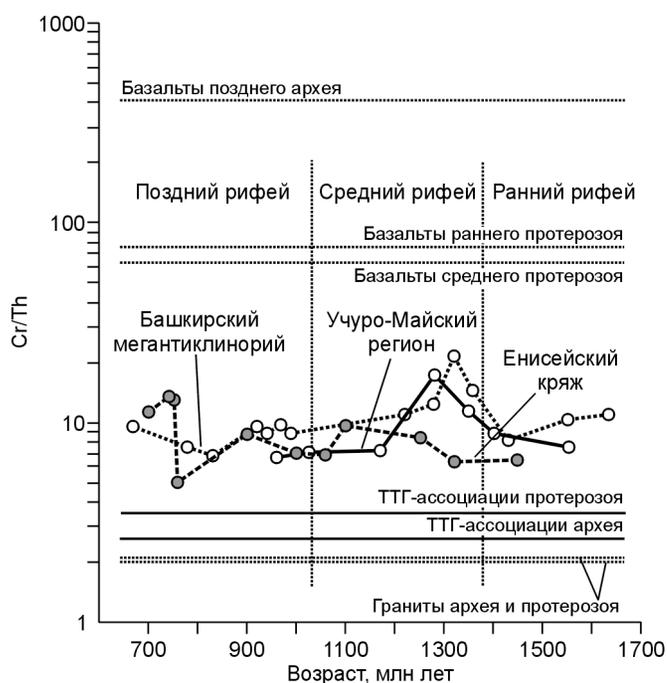
Таким образом, наиболее зрелым в геохимическом отношении сегментом размывавшейся в течение рифея континентальной коры являлась кора юго-западной (в современных координатах) периферии Сибирского кратона. Ранее такая геохимическая особенность состава коры этого региона была установлена на основе анализа ряда других петрогеохимических параметров [Ножкин, 1985, 1997, 2004; Ножкин, Туркина, 1993].

Динамика изменения степени зрелости, т.е. соотношения основных и кислых породных ассоциаций в составе континентальной коры, размывавшейся в течение более 1 млрд лет по периферии исследованных нами типовых регионов развития осадочных мегапоследовательностей рифея, может быть проанализирована по изменению в тонкозернистых терригенных породах различного возраста значений отношения  $Cr/Th$ . Впервые этот прием был использован К. Конди и Д. Вронкиевич [Condie, Wronkiewicz, 1990] для реконструкции соотношения основных и кислых пород (соответственно примитивных и зрелых эволюционировавших источников сегментов коры) при исследовании основных черт формирования архейско-раннепротерозойских (3.4—1.8 млрд лет) метаосадочных последовательностей Каапваальского кратона. Указанными авторами было показано, что на протяжении 1600 млн лет формирование метаосадочных образований надсерий Свазиленд, Понгола, Витватерсранд, Вентерсдорп и Трансвааль контролировалось весьма ярко проявленными изменениями в соотношении в источниках сноса примитивных (основных) и зрелых — развитых (кислых) пород. Амплитуда изменения значений  $Cr/Th$  в каапваальских пелитах составляет от 300 до 6 с общим трендом к снижению данного параметра вверх по разрезу вследствие размыва все более зрелых субстратов.

На рис. 6 показаны вариации значений  $Cr/Th$  в тонкозернистых терригенных породах рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа. Из анализа кривых вполне очевиден вывод о том, что минимальные значения  $Cr/Th$ , указывающие на преобладание или существенную роль в источниках сноса кислых пород, характерны, как это мы видели и выше, для глинистых сланцев и метапелитов рифея Енисейского кряжа. На этом фоне весьма отчетливо проявлен рост значений  $Cr/Th$  в тонкозернистых обломочных породах чингасанской серии, который может быть интерпретирован как отражение масштабной деструкции континентальной коры в период формирования в позднем рифее рифтогенных прогибов второй генерации (~725—700 млн лет), связанной с процессом распада Родинии [Ножкин и др., 2008]. Деструкция коры и поступление в осадки фемического материала подтверждается и высокими содержаниями  $Cr$ , а также повышенными значениями  $Cr/Th$  в метапелитах горевской и сухохребтинской свит ширококинской серии, коррелируемой с чингасанской. На уровне первой из них проявился трахиандезит-базальтовый, а на уровне второй — трахибазальт-трахитовый рифтогенный вулканизм [Ножкин, 1997]. Формирование более ранних рифтогенных прогибов (750—730 млн лет) с проявлением бимодального риолит-базальтового магматизма также характеризовалось повышенными содержаниями  $Cr$  и значениями отношения  $Cr/Th$  в тонкозернистых обломочных породах в сравнении с таковыми в тунгусикской и сухопитской сериях. Так, в глинистых сланцах водораздельнинской свиты верхневороговской серии среднее содержание  $Cr$  составляет ~190 г/т, а отношение  $Cr/Th$  достигает 12. Вариации значений  $Cr/Th$  в глинистых сланцах и аргиллитах нижнего и среднего рифея Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского региона почти симбатны, что указывает на субглобальный масштаб процессов рифтогенеза, приуроченных в стратотипической местности к началу юрматиния (так называемое «машакское рифтогенное событие» [Ронкин и др., 2005, Маслов и др., 2006а]).

**Рис. 6. Вариации медианных значений  $Cr/Th$  в тонкозернистых терригенных образованиях рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа.**

Значения  $Cr/Th$  в гранитах и ТТГ-ассоциациях архея и протерозоя, а также базальтах позднего архея, раннего и среднего протерозоя (пунктирные горизонтальные линии) показаны по данным работы [Condie, 1993].



## ВЫВОД

Таким образом, приведенные геохимические данные для тонкозернистых обломочных пород осадочных мегапоследовательностей рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа позволили получить важную информацию о степени зрелости — геохимической дифференцированности и направленности эволюции состава крупных сегментов континентальной коры, являвшихся источниками тонкой алюмосиликокластики.

Установлено, что наиболее зрелым в геохимическом отношении сегментом континентальной коры в рифее являлась кора юго-западной (в современных координатах) периферии Сибирского кратона. Тонкозернистые обломочные породы и метапелиты всех литостратиграфических подразделений рифея Енисейского кряжа характеризуются более высокими медианными содержаниями Th в сравнении с наиболее геохимически зрелыми субстратами палеопротерозоя и максимально близкими к ним средними значениями Y и Cr/Th. На Южном Урале и Учуро-Майском регионе отдельные уровни осадочных последовательностей рифея характеризуются медианными содержаниями Y и Th и величинами отношения Cr/Th на уровне примитивных архейских субстратов.

Анализ особенностей изменения значений Cr/Th в тонкозернистых терригенных породах всех трех мегапоследовательностей показывает, что минимальные значения Cr/Th, свидетельствующие о преобладании или существенной роли в источниках сноса кислых пород, характерны для глинистых сланцев и метапелитов рифея Енисейского кряжа. Отчетливо проявленный рост значений Cr/Th, а также Cr/Sc в тонкозернистых обломочных породах чингасанской серии кряжа интерпретирован как отражение масштабной деструкции континентальной коры в период формирования во второй половине позднего рифея рифтогенных прогибов, связанных с процессами распада Родинии.

Вариации значений Cr/Th в глинистых сланцах и аргиллитах нижнего и среднего рифея Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского региона указывают на субглобальный масштаб процессов рифтогенеза, приуроченных в стратотипической местности к началу среднего рифея.

Авторы признательны В.А. Макрыгиной и И.И. Лиханову за конструктивные замечания, а также В.В. Ревердатто за ряд ценных советов, способствовавших завершению работы над статьей.

Исследования выполнены при 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 проекта РФФИ 08-05-00521.

## ЛИТЕРАТУРА

- Акимова Г.Н.** О направлении и источниках сноса обломочного материала в отложениях верхнерифейской зильмердакской свиты Южного Урала // Докл. АН СССР, 1964, т. 158, № 5, с. 1099—1101.
- Акимова Г.Н.** Литологические особенности и условия образования отложений зильмердакской свиты докембрия западного склона Южного Урала: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Л., ВСЕГЕИ, 1966, 20 с.
- Акульшина Е.П., Ивановская А.В., Казанский Ю.П.** Осадконакопление в позднем докембрии // Геология докембрия. Докл. сов. геологов. 24 сес. МГК. Проблема 1. Л., Наука, 1972, с. 17—23.
- Вейс А.Ф., Семихатов М.А.** Нижнерифейская омахтинская ассоциация микрофоссилий Восточной Сибири: состав и условия формирования // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1989, № 5, с. 36—54.
- Вейс А.Ф., Петров П.Ю.** Главные особенности фациально-экологического распределения микрофоссилий в рифейских бассейнах Сибири // Стратиграфия. Геол. корреляция, 1994, т. 2, № 5, с. 97—129.
- Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Травин А.В., Палесский С.В., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Ясенов А.М.** Неопротерозойские постколлизийные гранитоиды глушихинского комплекса, Енисейский кряж // Петрология, 2003, т. 11, № 1, с. 53—67.
- Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Вингейт М.Т.Д., Попов Н.В., Ясенов А.М.** Древнейшие гранитоиды Заангарья Енисейского кряжа: U-Th-Pb данные по цирконам // Докл. РАН, 2004, т. 397, № 2, с. 225—230.
- Верниковский В.А., Верниковская А.Е.** Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 35—52.
- Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Ножкин А.Д., Пономарчук В.А.** Рифейские офиолиты Исаковского пояса (Енисейский кряж) // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (7—8), с. 169—181.
- Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Черных А.М., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Яковлева С.З., Федосеенко А.М.** Порожнинские гранитоиды Приенисейского офиолитового пояса — индикаторы неопротерозойских событий на Енисейском кряже // Докл. РАН, 2001, т. 381, № 6, с. 806—810.
- Гарань М.И.** Верхний докембрий (рифей): стратиграфия // Геология СССР. Т. 12. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. М., Недра, 1969, с. 149—200.

**Гаррис М.А.** Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. М., Наука, 1977, 295 с.

**Гаррис М.А., Казаков Г.А., Келлер Б.М., Полевая Н.И., Семихатов М.А.** Геохронологическая шкала верхнего протерозоя (рифей и венд) // Абсолютный возраст геологических формаций. М., Наука, 1964, с. 431—455.

**Геология** и палеогеография западного склона Урала / Отв. ред. Ю.Д. Смирнов. Л., Недра, 1977, 199 с.

**Горожанин В.М.** Геохронология нижнего венда Южного Урала // Стратиграфия верхнего протерозоя СССР (рифей и венд) (Тез. докл. Всес. совещ.). Уфа, БНЦ УрО АН СССР, 1990, с. 51—52.

**Горожанин В.М., Кутявин Э.П.** Рубидий-стронциевое датирование глауконита укской свиты // Докембрий и палеозой Южного Урала. Уфа, БНЦ УрО АН СССР, 1986, с. 60—63.

**Докембрийская геология СССР** / В.Я. Хильтова, А.Б. Вревский, С.Б. Лобач-Жученко и др. Л., Наука, 1988, 440 с.

**Зайцева Т.С., Ивановская Т.А., Горохов И.М., Яковлева О.В., Кутявин Э.П., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б.** Rb-Sr возраст и ЯГР-спектры глауконитов укской свиты, верхний рифей, Южный Урал // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. М., ГЕОС, 2000, с. 144—147.

**Коваленко В.И., Богатиков О.А., Дмитриев Ю.И., Кононова В.А.** Общие закономерности эволюции магматизма в истории Земли // Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли. М., Наука, 1987, с. 332—348.

**Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Маслов А.В.** Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb-возраст известняков бакальской свиты (типовой разрез нижнего рифея, Южный Урал) // Докл. РАН, 2003, т. 391, № 6, с. 794—798.

**Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Маслов А.В., Горохов И.М., Прасолов Э.М., Крупенин М.Т., Кислова И.В.** Sr- и S-изотопная хеостратиграфия типового разреза верхнего рифея (Южный Урал): новые данные // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2006, т. 14, № 6, с. 25—53.

**Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Васильева И.М., Гороховский Б.М., Маслов А.В.** Sr-изотопная характеристика и Pb-Pb возраст карбонатных пород саткинской свиты, нижнерифейская бурзянская серия Южного Урала // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2008, т. 16, № 2, с. 16—34.

**Легенда Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации м-ба 1:200 000** (второе издание) / Отв. ред. Л.К. Качевский. Красноярск, 1998, 197 с.

**Маслов А.В.** Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М., Наука, 1988, 133 с.

**Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В.** Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы). Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2001, т. 1, 351 с.

**Маслов А.В., Оловянишников В.Г., Ишерская М.В.** Рифей восточной, северо-восточной и северной периферии Русской платформы и западной мегазоны Урала: литостратиграфия, условия формирования и типы осадочных последовательностей // Литосфера, 2002, № 2, с. 54—95.

**Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Лепихина О.П.** Источники сноса рифейских бассейнов седиментации области сочленения Русской платформы и Южного Урала: синтез петрографических, петро- и геохимических данных // Докл. РАН, 2003, т. 389, № 2, с. 219—222.

**Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю.** Тонкозернистые алюмосиликокластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полезные ископаемые, 2004а, № 4, с. 414—441.

**Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю.** P3Э, Sr, Th и Sc в глинистых сланцах типового разреза рифея как показатели состава и эволюции источников сноса // Литосфера, 2004б, № 1, с. 70—112.

**Маслов А.В., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Горожанин В.М.** Долговременные вариации состава верхней коры по данным изучения геохимических особенностей глинистых пород позднего докембрия западного склона Южного Урала и Учуро-Майского региона // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2006а, т. 14, № 2, с. 26—51.

**Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю.** Систематика редкоземельных элементов, Th, Hf, Sc, Co, Sr и Ni в глинистых породах серебрянской и сылвицкой серий венда западного склона Среднего Урала — инструмент мониторинга состава источников сноса // Геохимия, 2006б, № 6, с. 610—632.

**Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Дмитриева Н.В., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю.** Тонкозернистые алюмосиликокластические породы рифея Южного Урала, Учуро-Майского региона и Енисейского кряжа: основные литогеохимические характеристики // *Геохимия*, 2008, № 11, с. 1—30.

**Мионов А.Г., Ножкин А.Д.** Золото и радиоактивные элементы в рифейских вулканогенных породах и продуктах их метаморфизма (Енисейский кряж). Новосибирск, Наука, 1978, 278 с.

**Нижний рифей Южного Урала** / Отв. ред. М.А. Семихатов. М., Наука, 1989, 208 с.

**Ножкин А.Д.** Геолого-геохимические признаки зрелости архейских комплексов и причины рудосности континентальных блоков земной коры // *Геология и геофизика*, 1983 (8), с. 41—48.

**Ножкин А.Д.** Геохимическая неоднородность архейской литосферы и ее значение для металлогении // *Геология и геофизика*, 1985 (6), с. 3—12.

**Ножкин А.Д.** Петрогеохимическая типизация докембрийских комплексов юга Сибири: Дис. ... д.г.-м.н. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1997, 98 с.

**Ножкин А.Д.** Радиоактивные элементы — индикаторы состава и эволюции земной коры // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека (Материалы II Межд. конференции)*. Томск, Тандем-Арт, 2004, с. 444—447.

**Ножкин А.Д., Туркина О.М.** Геохимия гранулитов канского и шарыжалгайского комплексов / Ред. Н.Л. Добрецов. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1993, 223 с.

**Ножкин А.Д., Постников А.А.** Рифтогенные вулканогенно-осадочные комплексы неопротерозоя юго-западной окраины Сибирского кратона: отражение ранних стадий раскрытия и эволюции Палеоазиатского океана // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) (Материалы совещ.)*. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2006, с. 65—68.

**Ножкин А.Д., Туркина О.М., Бибикина Е.В., Терлеев А.А., Хоментовский В.В.** Рифейские гранитоидные купола Енисейского кряжа: геологическое строение и U-Pb изотопный возраст // *Геология и геофизика*, 1999, т. 40 (9), с. 1305—1313.

**Ножкин А.Д., Постников А.А., Ларионов А.Н., Бережная Н.Г., Травин А.В.** Состав и изотопный возраст неопротерозойских вулканогенно-осадочных комплексов рифтогенных прогибов Енисейского кряжа // *Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма (Материалы III Рос. конференции по изотопной геохронологии)*. Т. 2. М., ГЕОС, 2006, с. 76—81.

**Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е., Травин А.В., Станевич А.М., Юдин Д.С.** Чингасанская серия неопротерозоя Енисейского кряжа: новые данные о возрасте и условиях формирования // *Геология и геофизика*, 2007, т. 48 (12), с. 1307—1320.

**Ножкин А.Д., Туркина О.М., Баянова Т.Б., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Постников А.А., Травин А.В., Эрнст Р.Е.** Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии // *Геология и геофизика*, 2008, т. 49 (7), с. 666—688.

**Нужнов С.В.** Рифейские отложения юго-востока Сибирской платформы. М., Наука, 1967, 159 с.

**Обновленные** схемы межрегиональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области и Енисейского кряжа / Ред. В.Л. Хомичев. Новосибирск, СНИИГГиМС, 2007, 280 с.

**Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Семихатов М.А., Васильева И.М., Гороховский В.М., Козлов В.И., Самсонова Е.Н.** Время формирования и преобразования отложений инзерской свиты, верхний рифей Южного Урала // *Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея Северной Евразии* / Ред. А.В. Маслов (Тез. докл.). Екатеринбург, УрО РАН, 1995, с. 73—75.

**Овчинникова Г.В., Васильева И.М., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Гороховский В.М., Левский Л.К.** U-Pb систематика карбонатных пород протерозоя: инзерская свита стратотипа верхнего рифея, Южный Урал // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 1998, т. 6, № 4, с. 20—31.

**Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Васильева И.М., Горохов И.М., Каурова О.К., Подковыров В.Н., Гороховский В.М.** Pb-Pb возраст известняков среднерифейской малгинской свиты, Учуро-Майский регион Восточной Сибири // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 2001, т. 9, № 6, с. 3—25.

**Олли А.И.** Древние отложения западного склона Урала. Саратов, Изд-во Саратовского государственного университета, 1948, 407 с.

**Подковыров В.Н.** Осадочные последовательности рифея и венда стратотипических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемостратиграфия, геодинамические обстановки формирования): Автореф. дис. ... д.г.-м.н. СПб., ИГГД РАН, 2001, 37 с.

**Подковыров В.Н., Маслов А.В.** Систематика редкоземельных элементов в глинистых сланцах рифея Учуро-Майского региона Восточной Сибири (новые данные) // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении*. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, Пермский госуниверситет, 2006, с. 166—173.

**Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н.** Глинистые отложения сибирского гипостратотипа рифея и венда: химический состав, Sm-Nd систематика источников и этапы формирования // Литология и полезные ископаемые, 2002, № 4, с. 397—418.

**Подковыров В.Н., Котова Л.Н., Ковач В.П., Загорная Н.Ю.** Модельные Sm-Nd возраста источников терригенных осадков и геодинамика бассейнов сибирского гипостратотипа рифея (Учуро-Майский регион) // Изотопная геохронология в решении задач геодинамики и рудогенеза. Материалы совещ. СПб., ИГГД РАН, 2003, с. 362—365.

**Постельников Е.С.** Геосинклинальное развитие Енисейского кряжа в позднем докембрии. М., Наука, 1980, 68 с.

**Постельников Е.С.** О циклическом развитии рифейской геосинклинали Енисейского кряжа // Проблемы тектоники земной коры. М., Изд-во МГУ, 1981, с. 143—158.

**Постельников Е.С.** Верхнепротерозойские структуры и формации восточного склона Енисейского кряжа // Бюл. МОИП. Отд. геол., 1990, т. 65, вып. 1, с. 14—31.

**Раабен М.Е.** Строматолитовые формации рифея в обрамлении Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2007, т. 15, № 1, с. 35—46.

**Рифейские** отложения Сибирской платформы и прилегающих складчатых сооружений / Ред. Ю.П. Казанский. Новосибирск, Наука, 1973, 208 с.

**Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Ершов В.М.** Стерильно-производственное помещение для химической подготовки проб для изотопного анализа // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. М., ГЕОС, 2000, с. 297—299.

**Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Матуков Д.И., Лепихина О.П., Попова О.Ю.** «Машакское рифтогенное событие» рифея типовой области (Южный Урал): новые изотопно-геохронологические рамки // Строение, геодинамика и минерагенические процессы в литосфере. (Материалы конференции). Сыктывкар, Геопринт, 2005, с. 305—307.

**Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Казак А.П., Матуков Д.И., Лепихина О.П.** Граница нижнего и среднего рифея на Южном Урале: новые изотопные U-Pb SHRIMP-II ограничения // Докл. РАН, 2007, т. 415, № 3, с. 370—376.

**Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А.** Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М., Наука, 1990, 182 с.

**Семихатов М.А.** Рифей и нижний кембрий Енисейского кряжа. М., Изд-во АН СССР, 1962, 241 с.

**Семихатов М.А.** Стратиграфия и геохронология протерозоя. М., Наука, 1974, 298 с.

**Семихатов М.А., Серебряков С.Н.** Сибирский гипостратотип рифея. М., Наука, 1983, 224 с.

**Семихатов М.А., Полевая Н.И., Волобуев М.А., Казаков Г.А.** Поздний докембрий Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // Геохронология СССР. Т. 1. Докембрий. Л., Недра, 1973, с. 268—280.

**Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М., Беккер Ю.Р., Бибилова Е.В., Дук В.Л., Есипчук К.Е., Карсаков Л.П., Киселев В.В., Козлов В.И., Лобач-Жученко С.Б., Негруца В.З., Робонен В.И., Сезько А.И., Филатова Л.И., Хоментовский В.В., Шемякин В.М., Шульдинер В.И.** Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1991, № 8, с. 3—14.

**Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Гороховский Б.М., Подковыров В.Н.** Изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея: Pb-Pb геохронология карбонатных пород лахандинской серии, Восточная Сибирь // Докл. РАН. 2000, т. 372, № 2, с. 216—221.

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

**Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М.** Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., Мир, 1988, 384 с.

**Хабаров Е.М.** Формации и эволюция рифейской седиментации восточных зон Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 1994, т. 35 (10), с. 44—54.

**Хабаров Е.М.** Стратиграфия рифея. Район Енисейского кряжа // Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, с. 39—61.

**Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Морозова И.П., Травин А.В.** Изотопы углерода в рифейских карбонатных породах Енисейского кряжа // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1999, т. 7, № 6, с. 20—40.

**Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Морозова И.П., Вараксина И.В., Сараев С.В.** Вариации уровня моря и изотопного состава карбонатного углерода в рифейском бассейне западной окраины Сибирского кратона (Байкитская антеклиз) // Геология и геофизика, 2002, т. 43 (3), с. 211—239.

**Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Вараксина И.В.** Седиментационные бассейны, изотопная геохимия и геодинамическая эволюция западной окраины Сибирского кратона в рифее // Эволюция тектонических процессов в истории Земли. Т. 2. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004, с. 244—247.

**Хайн В.Е., Божко Н.А.** Историческая геотектоника. Докембрий. М., Недра, 1988, 382 с.

**Хоментовский В.В.** Верхний рифей Енисейского края // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (9), с. 921—933.

**Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якшин М.С.** Рифей Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1985 (7), с. 25—33.

**Худолей А.К.** Тектоника пассивных окраин древних континентов (на примере восточной окраины Сибирской и западной окраины Североамериканской платформ): Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М., ГИН РАН, 2003, 35 с.

**Худолей А.К., Рейнбирд Р., Стерн Р., Кропачев А.П., Химан Л., Занин А.М., Подковыров В.Н., Сухоруков В.И.** Новые данные о рифейском тектогенезе на северо-востоке России // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Материалы XXXII тект. совещ. Т. 2. М., ГЕОС, 1999, с. 261—264.

**Шенфиль В.Ю.** Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1991, 185 с.

**Юдович Я.Э., Кетрис М.П.** Основы литохимии. СПб., Наука, 2000, 479 с.

**Bartley J.K., Semikhatov M.A., Kaufman A.J., Pope M.C., Jacobsen S.B.** Global events across the Mesoproterozoic-Neoproterozoic boundary: C and Sr isotopic evidence from Siberia // Prec. Res., 2001, v. 111, p. 165—202.

**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.** Plate tectonics and crustal evolution. 4th ed. Butterworth Heinemann. Oxford. 1997, 282 p.

**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.

**Dia A., Allegre C.J., Erlank A.J.** The development of continental crust through geological time: the South Africa case // Earth Planet. Sci. Lett., 1990, v. 98, p. 74—89.

**Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Hamilton M.** Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник, Уфа, ИГ УНЦ РАН, 2006, № 5, с. 119—161.

**Gorokhov I.M., Melnikov N.N., Turchenko T.L., Kutuyavin E.P., Samsonova E.N.** Two illite generations in an Upper Riphean shale: the Rb-Sr isotopic evidence // EUG 8. Abs. Suppl. № 1 to Terra Nova, 1995, v. 7, p. 330—331.

**Herron M.M.** Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol., 1988, v. 58, p. 820—829.

**Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A., Kropachev A.P., Heaman L.M., Zанин А.М., Podkovyrov V.N., Belova V.N., Sukhorukov V.I.** Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia // Prec. Res., 2001, v. 111, p. 129—163.

**Maslov A.V.** Riphean and Vendian sedimentary sequences of the Timanides and Uralides, the eastern periphery of the East European Craton // Gee D.G., Pease V.L. (Eds). The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society of London, Memories, 2004, v. 30, p. 19—35.

**Rock N.M.S., Webb J.A., McNaughton N.J., Bell G.D.** Nonparametric estimation of averages and errors for small datasets in isotopic geoscience: a proposal // Chem. Geol., 1987, v. 66, p. 163—177.

*Рекомендована к печати 16 июня 2008 г.  
В.В. Ревердатто*

*Поступила в редакцию  
27 февраля 2008 г.*