

ВАРИАЦИИ LREE/HREE, La/Sc, Th/Sc И Eu/Eu* В ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦАХ РИФЕЯ УЧУРО-МАЙСКОГО РЕГИОНА: НОВЫЕ ДАННЫЕ

А.В. Маслов, В.Н. Подковыров

Анализ особенностей распределения петрогенных, малых и редких элементов в тонкозернистых алюмосиликокластических породах позволяет наметить общий характер изменений состава верхней коры во времени [Тейлор, Макленнан, 1988 и др.]. Однако до недавнего времени рифейско-вендский интервал геологической летописи был проанализирован с очень низким возрастным разрешением, что позволило некоторым авторам считать, что любые поступления ювенильного материала в верхнюю кору в постархейское время существенно не отличались по составу от уже существовавшей коры. Этот пробел был в значительной степени восполнен в нашей работе [Маслов и др., в печати], однако и приведенные в ней данные по гипостратотипическому разрезу рифея Учуро-Майского региона нельзя в полной мере считать корректными, так как они были получены на весьма ограниченном аналитическом материале (всего порядка 30 анализов). В настоящее время наш банк аналитических данных по указанной области расширен примерно в 3 раза, что позволяет вновь обратиться к рассмотрению наиболее общих особенностей вариаций LREE/HREE, La/Sc, Th/Sc и Eu/Eu* в глинистых сланцах рифея Учуро-Майского региона в рамках «реального времени». Последнему в немалой степени способствует современная хорошая геохронологическая изученность осадочных последовательностей Средней Сибири.

Сибирский гипостратотип рифея объединяет учурскую, аимчанскую, керпыльскую, лахандинскую и уйскую серии. Учурская серия отвечает нижнему рифею, аимчанская и керпыльская принадлежат среднему рифею, а лахандинская и уйская – верхнему [Семихатов, Серебряков, 1983]. Состав и строение разрезов всех названных выше крупных литостратиграфических подразделений неоднократно описан в литературе, что позволяет нам ниже на этих материалах подробно не останавливаться.

Учурская серия объединяет в Учурской впадине гонамскую, омахтинскую и эннинскую свиты, а в пределах Юдомо-Майского прогиба – пионерскую, трехгорную и димскую свиты [Семихатов, Серебряков, 1983; Шенфиль, 1991; Сергеев, 2003]. Начало накопления осадочных последовательностей гипостратотипа рифея оценивается в 1600?-1520 млн лет [Khudoley et al., 2001]. По данным В.Ю. Шенфиля [1991], возраст (К-Аг метод) глауконита (валовые пробы) из песчаников гонамской свиты Учурской впадины составляет 1450-1520 млн лет, а из пород омахтинской свиты – 1360 млн лет.

Аимчанская серия объединяет талынскую и светлинскую свиты. Возраст минералогически неизученного глауконита (К-Аг метод, валовые пробы) из песчаников талынской свиты составляет 1210-1230 млн лет [Казаков, Кнорре, 1973; Семихатов, 1974; Шенфиль, 1991].

Расчетный изотопный возраст основных литостратиграфических подразделений рифея Учуро-Майского региона и медианные значения отношений LREE/HREE, Th/Sc, La/Sc и Eu/Eu* в глинистых сланцах

Свита	Трех-горная		Димская		Талын-ская		Светлин-ская		Тоттин-ская		Малгин-ская		Неруен-ская		Кандык-ская		Усть-кир-бинская (низь)		Усть-кир-бинская (верхи)	
Возраст, млн лет	1525		1400		1350		1320		1240		1030		1025		1000		980		940	
	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO	M	CO
LREE/HREE	13,4	1,8	13,3	2,3	10,5	3,4	10,3	6,4	8,8	2,8	6,7	-	7,9	2,7	4,6	-	-	-	-	-
Th/Sc	0,7	0,3	0,7	0,1	1,1	0,4	0,8	0,2	0,8	0,2	0,3	-	0,7	0,3	1,3	-	0,72	-	0,75	-
La/Sc	2,7	1,0	2,6	0,4	4,0	1,9	2,6	0,6	2,4	0,8	1,1	-	1,8	1,0	8,4	-	1,7	-	2,1	-
Eu/Eu*	0,6	0,03	0,7	0,05	0,65	0,09	0,62	0,09	0,63	0,05	0,77	-	0,60	0,07	0,62	-	0,59	-	0,5	-

Примечание. М – медиана, CO – стандартное отклонение.

Керпыльская серия объединяет тоттинскую, малгинскую и цыпандинскую свиты. Максимальные значения возраста глауконита (К-Аг метод) из песчаников тоттинской свиты, которые могут быть приняты за наиболее достоверную оценку времени накопления отложений, составляют порядка 1170-1070 млн лет [Шенфильд, 1991; Сергеев, 2003]. Наиболее молодая ассоциация обломочных цирконов из терригенных пород тоттинской свиты имеет возраст 1300 ± 50 млн лет [Худолей и др., 1999; Khudoley et al., 2001]¹. Pb-Pb возраст известняков малгинской свиты составляет, по данным Г.В. Овчинниковой с соавторами [2001], 1043 ± 14 млн лет. Хемостратиграфические данные [Bartley et al., 2001] позволяют предполагать, что малгинская свита моложе 1250 млн лет.

Лахандинская серия включает две свиты – неруенскую и игниканскую. Pb-Pb возраст карбонатных пород нижней части лахандинской серии составляет 1025 ± 40 млн лет [Семихатов и др., 2000]. Карбонатные породы сухотунгусикской свиты, залегающей в Туруханском поднятии между аналогами малгинской и неруенской свит, имеют возраст (Pb-Pb метод) 1035 ± 60 млн лет [Bartley et al., 2001].

Завершает разрез верхнего рифея в Юдо-мо-Майском прогибе уйская серия, в состав которой входят кандыкская и усть-кирбинская свиты. Синхронные времени накопления отложений нижней части уйской серии проявления основного магматизма имеют возраст 1000-975 млн лет

(U-Pb метод по баделлеиту) [Khudoley et al., 2001]. Наиболее молодая ассоциация обломочных цирконов в породах нижней части уйской свиты имеет возраст 1057 ± 28 млн лет (U-Pb метод) [Rainbird et al., 1998].

Принятые в настоящей работе для анализа вариаций LREE/HREE, La/Sc, Th/Sc и Eu/Eu* значения изотопного возраста основных литостратиграфических подразделений гипостратотипа рифея приведены в табл. 1.

Выполненные нами ранее исследования [Маслов и др., в печати] позволили установить следующее. Величина отношения Th/Sc в глинистых сланцах нижнего рифея растет вверх по разрезу от 0,48 до 0,76 (рис. 1а), однако в основании талынской свиты среднего рифея этот параметр снижается до 0,24. Выше по разрезу величина Th/Sc постепенно вновь увеличивается и в глинистых сланцах тоттинской свиты достигает значений, характерных для тонкозернистых терригенных пород верхней части учурской серии. Максимально высокие значения отношения Th/Sc (0,94-1,00) характерны для глинистых сланцев неруенской, игниканской и кандыкской свит лахандинской и уйской серий; в глинистых породах завершающей уйскую серию усть-кирбинской свиты указанный параметр снижается до 0,72-0,75.

Вариации отношения La/Sc в глинистых породах рифея Учуро-Майского региона почти симбатны изменениям Th/Sc (рис. 1б).

Отношение Eu/Eu* в глинистых сланцах учурской серии обнаруживает слабую тенденцию к возрастанию вверх по разрезу (рис. 1в). В глинистых сланцах основания среднего рифея указанный параметр поднимается до 0,99, тог-

¹ По устному сообщению А.К. Худолея (2005 г.), минимальный возраст обломочных цирконов из пород тоттинской свиты может быть еще моложе – 1150-1100 млн лет.

да как в тонкозернистых терригенных породах вышележащих светлинской и тоттинской серий величина отрицательной Eu аномалии составляет от 0,54 до 0,71 при общей тенденции к снижению до рубежа 1200 млн лет и некоторому небольшому последующему росту. Аргиллиты лахандинской и уйской серий характеризуются заметно более низкими значениями Eu/Eu^* .

Сопоставляя средние значения отношений La/Sc , Th/Sc и Eu/Eu^* в позднедокембрийских отложениях Учуро-Майского региона с теми, что приведены С. Тейлором и С. Мак-Леннаном [1988] для тонкозернистых терригенных образований, сформированных в интервале 1,7-0,6 млрд лет, можно видеть, что в обоих случаях почти тождественна только величина La/Sc . Отношение же Th/Sc в глинистых породах рифея и венда Учуро-Майского региона значительно меньше тех, что опубликованы названными выше авторами. Наиболее простым объяснением указанного феномена является предположение о меньшей зрелости тех блоков верхней коры, которые являлись источниками тонкой силикокластики для осадочных последовательностей рифея и венда Учуро-Майского региона [Маслов и др., в печати]. Причиной этого могло являться как присутствие на палеоводосборах относительно крупных блоков пород архея, так и привнос ювенильного мантийного материала, фиксируемый, в частности, по ва-

риациям в глинистых породах позднего докембрия значений $T_{Nd}(DM)$ и $\epsilon_{Nd}(T)$.

Предпринятое нами в 2005 г. расширение банка аналитических данных позволило получить несколько иные, чем ранее, кривые вариаций отношений Th/Sc и La/Sc (рис. 2), а также впервые проанализировать особенности изменения во времени отношения $LREE/HREE$.

Оказалось, что величина отношения Th/Sc в глинистых сланцах нижнего рифея является практически постоянной и равна $\sim 0,7$. Глинистые сланцы талынской свиты характеризуются несколько более высоким медианным значением этого отношения (1,1), тогда как ранее для пород данного уровня предполагалось существенно более низкое значение отношения Th/Sc ($\sim 0,24$). Вверх по разрезу среднего рифея величина отношения Th/Sc постепенно снижается и в глинистых сланцах малгинской свиты составляет всего 0,30. Для глинистых сланцев верхнего рифея характерны достаточно большие значения Th/Sc , варьирующие от 0,7 в породах нуруенской свиты до 1,3 в глинистых сланцах кандыкского уровня.

Величина отношения La/Sc с учетом новых данных, также как и ранее, меняется симбатно с изменением значения отношения Th/Sc .

Величина отрицательной европиевой аномалии в глинистых сланцах учурской серии и с учетом новых данных обнаруживает слабую тенденцию к возрастанию вверх по разрезу – в

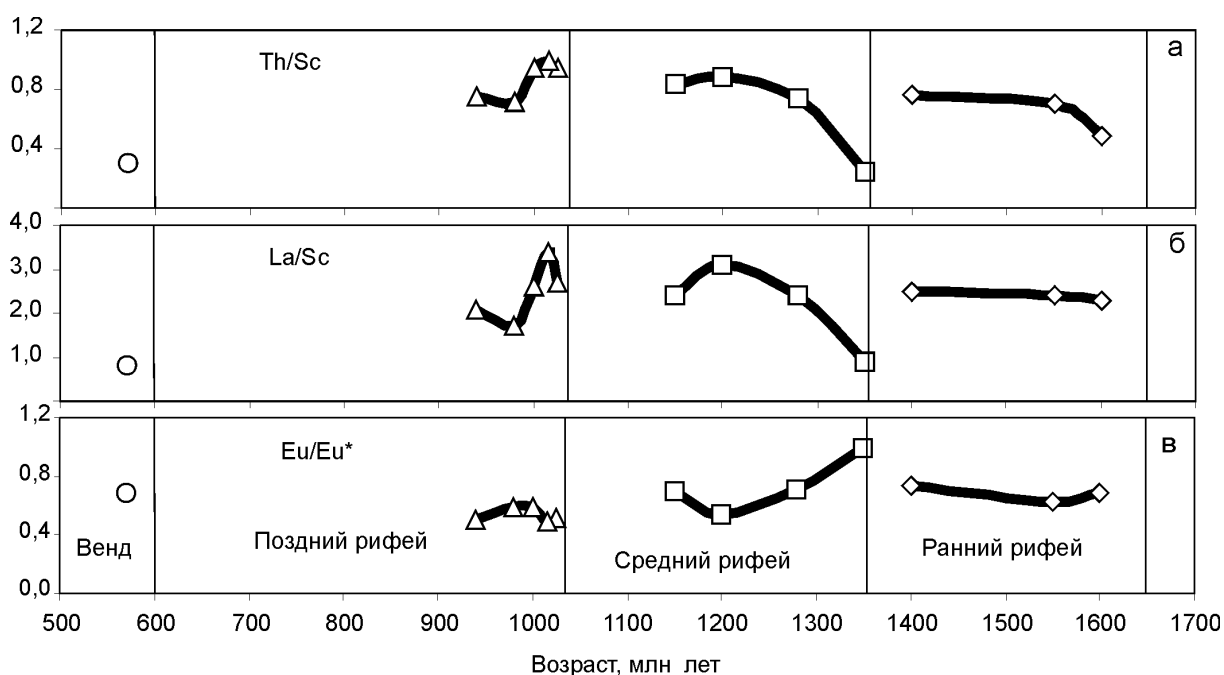


Рис. 1. Вариации отношений Th/Sc (а), La/Sc (б) и Eu/Eu^* (в) в глинистых сланцах и аргиллитах рифея и венда Учуро-Майского региона, по данным работы [Маслов и др., 2006].

сланцах трехгорной свиты ее медианное значение составляет 0,62, тогда как в глинистых породах димского уровня поднимается до 0,71. Примерно в этих же рамках варьирует данный параметр и в глинистых породах среднего рифея, тогда как ранее, на более ограниченном материале, нам представлялось, что в глинистых сланцах основания среднего рифея (талынская свита) отрицательная европиевая аномалия практически отсутствует ($\sim 0,99$). Тонкозернистые терригенные образования верхнего рифея (лахандинская и уйская серии) характеризуются более выраженной отрицательной европиевой аномалией (соответственно 0,60 и 0,59–0,50) по сравнению с глинистыми сланцами стратотипа рифея (медиана Eu/Eu^* в целом для юрматиния составляет 0,64, тогда как для каратавия – 0,59). Эта же тенденция изменения Eu/Eu^* была намечена нами для позднего рифея и ранее [Маслов и др., в печати].

Отношение LREE/HREE, составляющее в глинистых сланцах трехгорной свиты 13,4, а в тонкозернистых терригенных породах димской свиты – 13,3 (медиана LREE/HREE для раннего рифея в целом равна 13,35), в среднерифейс-

ких глинистых сланцах существенно снижается; в талынских сланцах оно равно 10,5, в тоттинских – 8,8, а в глинистых породах малгинского уровня составляет всего 6,7 (медиана LREE/HREE для среднего рифея = 9,55). Еще ниже величина данного параметра в породах неруенской (7,9) и кандыкской (4,6) свит, что отражает постепенное сокращение доли архейских, ювенильных субстратов тоналит-трондьемитового состава в областях сноса, характеризующихся высокими значениями LREE/HREE.

В целом, как показывают полученные нами новые геохимические материалы, формирование осадочных толщ нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона происходило преимущественно за счет размыва зрелой континентальной коры Сибирского кратона. Об этом свидетельствуют как геологические [Акульшина и др., 1972; Семихатов, 1974; Докембрийская геология..., 1988] и Nd изотопные [Подковыров и др., 2002], так и геохимические данные, наиболее важное значение среди которых играют величины отношений Th/Sc и La/Sc в глинистых сланцах учурской, аимчанской и керпыльской серий, близкие к тем, что типич-

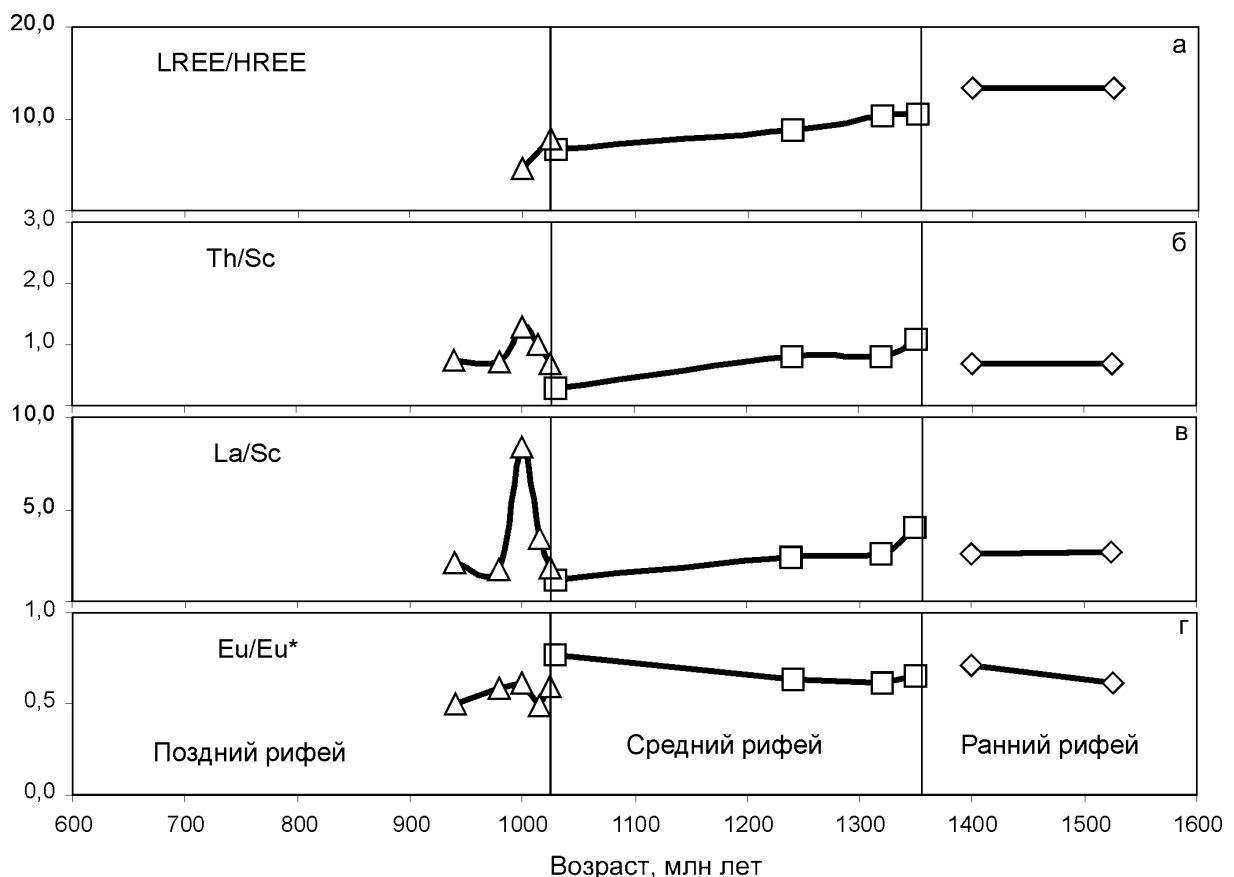


Рис. 2. Вариации отношений LREE/HREE (а), Th/Sc (б), La/Sc (в) и Eu/Eu^* (г) в глинистых сланцах и аргиллитах рифея Учуро-Майского региона, по данным настоящей работы.

ны для верхней континентальной коры (UCC), и сходные с PAAS значения Eu/Eu^* . Возможно, какую-то часть сиалического материала поставляли в бассейн и кислые магматические породы, локализованные к востоку от Учуро-Майского региона [Khudoley et al., 2003]. Роль последних могла быть доминирующей в самом начале среднего рифея (во время формирования тонкозернистых терригенных образований талынской свиты). Предполагается, что примерно 1,5, 1,38 и 1,32 млрд лет назад на рассматриваемой нами территории имели место импульсы рифтогенеза [Подковыров и др., 2001], однако существенного влияния на геохимические особенности осадочных образований раннего и среднего рифея они, по всей видимости, не оказали, хотя привели к концу среднего рифея к некоторому снижению значений $LREE/HREE$, Th/Sc и La/Sc в глинистых сланцах.

В самом начале позднего рифея (1005-942 млн лет назад) к северо-востоку от современного Южного Верхоянья произошло формирование крупной рифтовой системы. Это привело к масштабной деструкции континентальной коры и геологически очень быстрому накоплению почти 1 км магматических, вулканических и терригенных пород уйской серии [Khudoley et al., 2001]. В геохимии аргиллитов это событие отражено резким снижением значений отношения $LREE/HREE$ (медианное значение величины $LREE/HREE$ в глинистых сланцах верхнего рифея составляет 6,25 против 9,55 в среднерифейской тонкой алюмосиликокластике). В то же время заметный рост значений La/Sc и Th/Sc в глинистых породах неруенской, игниканской и кандыкской свит при параллельном росте величины отрицательной европиевой аномалии указывает, на наш взгляд, на размыв в самом начале позднего рифея и крупных блоков гранитоидов. В дальнейшем, в течение почти всего позднего рифея, на рассматриваемой территории происходила деструкция континентальной коры. Наиболее яркими реперами окончательного распада Родинии и глобальной перестройки Сибирского континента в конце позднего рифея являются толеитовые и бимодальные вулканы Байкало-Муйской зоны, Присяня, а также офиолиты и островодужные вулканы южной периферии Сибирского кратона с возрастными порядками 650-510 млн лет [Подковыров и др., 2001a; Семихатов и др., 2002]. Следствием этих событий является резкое снижение Th/Sc и La/Sc отно-

шений в единичных образцах аргиллитов венда (малская свита юдомской серии Юдомо-Майского прогиба), фиксирующих появление в областях сноса ювенильных магматических и вулканических пород начальной, рифтогенной стадии формирования палеозойской пассивной окраины востока Сибирской платформы.

Исследования по данной теме проведены в рамках интеграционного проекта УрО РАН и СО РАН «Докембрийские осадочные последовательности Урала и Сибири: типы и характер источников сноса, долговременные вариации состава коры, проблема рециклинга» и Программы 25 Президиума РАН.

Список литературы

Акульшина Е.П., Давыдов Ю.В. Корреляция рифейских отложений Юдомо-Майского и Учуро-Майского районов по составу глинистой фракции // Литолого-геохимические методы корреляции разрезов осадочных толщ Сибири. Новосибирск: Наука, 1972. С. 62-65.

Докембрийская геология СССР / Отв. ред. Д.В. Рундквист, Ф.П. Митрофанов. Л.: Наука, 1988. 440 с.

Казаков Г.А., Кнорре К.Г. Геохронология верхнего докембрия Учуро-Майского региона Сибирской платформы // Геолого-радиологическая интерпретация дискордантных определений возраста. М.: Наука, 1973. С. 192-205.

Келлер Б.М., Кратц К.О. Общая стратиграфическая шкала докембрия СССР и пути ее совершенствования // Общие вопросы расчленения докембрия СССР. Л.: Наука, 1983. С. 127-146.

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. В печати.

Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Васильева И.М. и др. Pb-Pb возраст известняков среднерифейской малгинской свиты, Учуро-Майский регион Восточной Сибири // Стратиграфия. Геол. Корреляция. Т. 9. № 6. С. 3-16.

Подковыров В.Н. Осадочные последовательности рифея и венда стратотипических регионов Сибири и Урала (литохимия, хемотратиграфия, геодинамические обстановки формирования). Автореф. докт. дисс. СПб.: ИГГД РАН, 2001. 37 с.

Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. Модели палеотектоники бассейнов сибирского типа рифея (Учуро-Майский регион): геохимические и Nd изотопные свидетельства по глинистым породам // Суперконтиненты в геологическом развитии

докембрия. Мат-лы совещ. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2001. С. 189-192.

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. 33-55.

Семихатов М.А. Стратиграфия и геохронология протерозоя. М.: Наука, 1974. 222 с.

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

Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М. и др. Изотопный возраст границы среднего и верхнего рифея: Pb-Pb геохронология карбонатов лангдинской серии, Восточная Сибирь // Докл. АН. 2000. Т. 372. № 2. С. 216-221.

Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М. и др. Низкое отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в гренвильском и пост-грнвильском палеоокеане: определяющие факторы // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т. 10. № 1. С. 3-46.

Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация, фациальная приуроченность и биостратиграфическое значение. Автореф. докт. дис. М.: ГИН РАН, 2003. 54 с.

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

Худолей А.К., Райнбирд Р., Стерн Р. и др. Новые данные о рифейском тектогенезе на северо-востоке России // Мат-лы ежегодной сессии Межведомственного тектонического комитета. М.: ГИН РАН, 1999. С. 261-264.

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

Bartley J. K., Semikhatov M.A., Kaufman A.J. et al. Global events across the Mesoproterozoic-Neoproterozoic boundary: C and Sr isotopic evidence from Siberia // Precambrian Res. 2001. V. 111. P. 165-202.

Khudoley A.K., Rainbird R.H., Stern R.A. et al. Sedimentary evolution of the Riphean-Vendian Basin of southeastern Siberia // Precam. Res. 2001. V. 111. P. 129-163.

Khudoley A.K., Guriev G.A. Influence of syn-sedimentary faults on orogenic structure: examples from the Neoproterozoic-Mesozoic east Siberian passive margin // Tectonophysics. 2003. V. 365. P. 23-43.

Rainbird R.H., Stern R.A., Khudoley A.K. et al. U-Pb geochronology of Riphean sandstone and gabbro from southeast Siberia and its bearing on the Laurentia-Siberia connection // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 164. P. 409-420.