

УДК (550.93+551.72):552.541(470.57)+550.42

Sr-ИЗОТОПНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И Pb–Pb-ВОЗРАСТ ИЗВЕСТНЯКОВ БАКАЛЬСКОЙ СВИТЫ (ТИПОВОЙ РАЗРЕЗ НИЖНЕГО РИФЕЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2003 г. А. Б. Кузнецов, Г. В. Овчинникова, И. М. Горохов,
О. К. Каурова, М. Т. Крупенин, А. В. Маслов

Представлено академиком М.А. Семихатовым 03.03.2003 г.

Поступило 20.02.2003 г.

Совершенствование Rb–Sr- и U–Pb(Pb–Pb)-методов исследования карбонатных пород [1, 2] открыло новые возможности для получения прямой информации о среде седиментации докембрийских карбонатных осадков и времени их формирования. Применение этих подходов к типовым разрезам рифея Восточной Сибири и Южного Урала позволило получить новые Sr-хемостратиграфические и Pb–Pb-геохронологические данные, которые изменили существующие представления как о вариациях отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в средне- и позднерифейской морской воде, так и об изотопном возрасте границы среднего и верхнего рифея (см. [3–7] и ссылки в этих работах). Однако изотопно-геохронологическая и геохимическая изученность нижнего рифея даже в его типовом разрезе на Южном Урале остается все еще недостаточной. Предлагаемая работа отчасти восполняет этот пробел, давая одновременно как Sr-хемостратиграфическую, так и Pb–Pb-геохронологическую характеристику карбонатных пород бакальской свиты, которая представляет собой верхний член вулканогенно-осадочной бурзянской серии – типа нижнего рифея [8].

Терригенно-карбонатная бакальская свита, вскрытая в северной части Башкирского мегантиклинория, согласно залегает на карбонатных породах саткинской свиты и с несогласием перекрывается кварцитовидными песчаниками зигальгинской свиты среднего рифея. В своей нижней части бакальская свита содержит мощную толщу хлорит-серицитовых сланцев, а в верхней объединяет пять карбонатных пачек, которые разделены пачками низкоуглеродистых хлорит-серицитовых сланцев (рис. 1).

Накопление бакальских осадков происходило преимущественно в прибрежных и удаленных частях шельфа мелководного бассейна [9]. Частая смена режимов седиментации, колебания уровня моря и изменение рельефа питающей провинции обусловили циклическое строение карбонатных пачек и чередование алевро-глинистых и карбонатных осадков. Позднее в рифее и фанерозое отложения бакальской свиты испытали литогенетические преобразования, важнейшим из которых стало формирование крупного стратиформного месторождения сидерита [9]. Изотопно-геохимическое изучение пород свиты выявило несколько эпигенетических генераций карбонатов, образование которых было связано как с железистым метасоматозом на границе среднего и позднего рифея, так и с тектоно-термальной активизацией региона в позднем рифее–венде [10].

В настоящей работе исследовались известняки березовской пачки из керна разведочных скважин, пройденных на горе Березовой и удаленных от Бакальского рудного поля. Всего было отобрано 22 образца из средней части пачки в интервале 110 м. Большинство образцов сохранило первичные седиментационные текстуры, сложно микроспаритом и представлено чистыми кальцитами ($\text{Mg}/\text{Ca} = 0.003$). Лишь в пяти образцах, содержащих редкие включения мелкокристаллического доломита, отношение Mg/Ca повышается до 0.065. Средние содержания Mn и Fe в известняках низки (соответственно 37 и 643 мкг/г) и увеличиваются (до 100 и 2840 мкг/г) только в участках, затронутых доломитизацией, и образцах, отобранных вблизи подстилающих глинистых сланцев.

Для хемостратиграфического и изотопно-геохронологического изучения выбраны восемь образцов тонкокристаллических известняков без включений доломита с низкой долей силикокластической примеси (0.2–0.7%). Низкие концентрации Mn (16–46 мкг/г) и Fe (210–390 мкг/г) наряду с высоким содержанием Sr (765–1090 мкг/г) в вы-

*Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской Академии наук, Санкт-Петербург
Институт геологии и геохимии
им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения
Российской Академии наук, Екатеринбург*

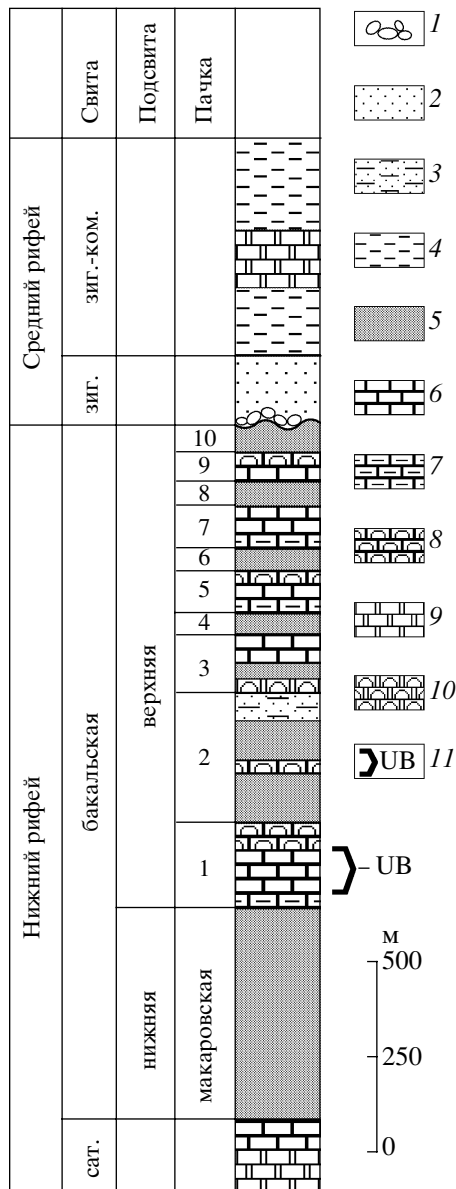


Рис. 1. Строение бакальской свиты в типовом разрезе рифея Южного Урала. 1 – конгломераты; 2 – песчаники; 3 – глинистые алевролиты; 4 – глинистые сланцы; 5 – низкоуглеродистые глинистые сланцы; 6 – известняки; 7 – глинистые известняки; 8 – строматолитовые известняки; 9 – доломиты; 10 – строматолитовые доломиты; 11 – интервал отбора образцов. Свиты: сат. – саткинская, зиг. – зигальгинская, зиг.-ком. – зигазино-комаровская. Пачки верхнебакальской подсвиты: 1 – березовская, 2 – иркусская, 3 – шуйдинская, 4 – надшуйдинская, 5 – гаевская, 6 – надгаевская, 7 – ши-ханская, 8 – надшиханская, 9 – верхнебакальская, 10 – буландихинская.

бренных образцах позволяют предполагать отсутствие сколько-нибудь значительных эпигенетических преобразований на обычном геохимическом уровне. Ранее, однако, было показано, что Rb-Sr- и особенно U-Pb-изотопные системы известняков весьма чувствительны к воздей-

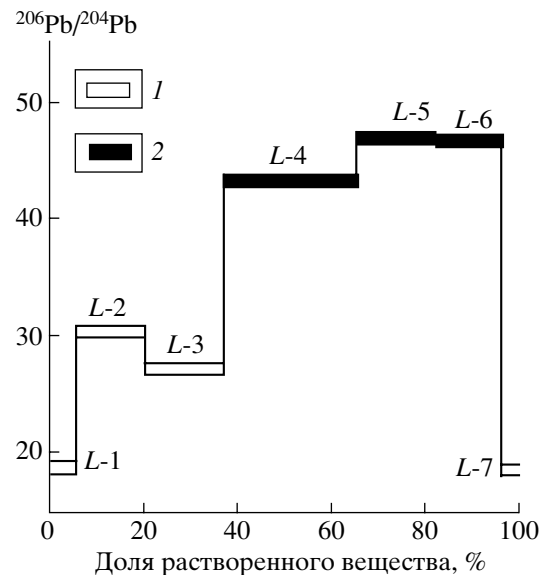


Рис. 2. Вариации отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в карбонатных фракциях образца UB-209. 1 – эпигенетически перекристаллизованные карбонатные фракции, 2 – обогащенные первичные карбонатные фракции.

вию постседиментационных процессов, и даже “наименее измененные” образцы, которые удовлетворяют жестким геохимическим критериям сохранности, могут содержать некогенетичные карбонатные фазы, различающиеся по своим Rb-Sr- и U-Pb-характеристикам [3–7]. Поэтому для диагностики вторичного карбонатного материала в известняках березовской пачки применялось многоступенчатое селективное растворение [11].

Навеска одного из отобранных известняков (обр. UB-209) последовательно обрабатывалась несколькими порциями 0.5 N HCl при комнатной температуре. Процедура повторялась до полного растворения карбонатной составляющей. Фракции, перешедшие в раствор, обозначались как L-1–L-7. Раствор каждой фракции делился на две аликвоты для определения изотопного состава Pb и Sr. Методики химического выделения и изотопного анализа и использованная аппаратура описаны ранее [3, 4]. Среднее значение отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в стандарте NIST SRM-987 в период работы составляло 0.71025 ± 0.00001 ($2\sigma_{\text{ср}}$, $n = 16$).

Величина измеренного отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатных фракциях обр. UB-209 варьирует незначительно – 0.70463–0.70467 (табл. 1), причем выше всего она во фракции L-1. Отношение $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ увеличивается от 18.955 в L-1 до 43.166–47.059 во фракциях L-4–L-6, а затем падает до 18.708 в L-7 (рис. 2). Таким образом, хотя постседиментационные процессы не привели к сколько-нибудь существенному нарушению Rb-Sr-систем во фракциях L-2–L-7, в терминах U-Pb-систематики наименее измененными можно счи-

Таблица 1. Rb–Sr- и Pb–Pb-характеристики растворимых карбонатных фракций в известняках березовской пачки бакальской свиты

№ обр.	Карбонатная фракция	Доля фракции в породе, %	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ измер.	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
UB-62	L-2–L-3	15.6	0.49	770	0.70466	20.647	17.695	–
	L-4–L-6	78.3	0.07	770	0.70463	60.531	19.485	36.558
UB-65	L-2–L-3	13.7	0.12	840	0.70463	20.793	15.760	37.238
	L-4–L-6	73.3	0.04	830	0.70467	35.720	17.253	36.932
UB-76	L-2–L-3	13.3	0.14	820	0.70470	18.855	15.436	37.432
	L-4–L-6	75.8	0.04	990	0.70471	36.590	17.336	36.669
UB-81	L-2–L-3	15.2	–	–	–	22.143	15.704	37.059
	L-4–L-6	80.3	0.04	790	0.70481	30.971	16.864	37.338
UB-101	L-2–L-3	15.1	–	–	–	19.361	15.374	35.602
	L-4–L-6	80.1	0.01	1040	0.70474	20.727	15.874	36.525
UB-121	L-2–L-3	20.8	0.29	1570	0.70484	19.337	14.632	34.718
	L-4–L-6	73.0	0.05	960	0.70479	31.494	16.853	36.588
UB-198	L-2–L-3	16.4	0.08	950	0.70456	20.616	15.244	39.086
	L-4–L-6	73.6	0.15	1000	0.70457	41.782	17.788	36.622
UB-209	L-1	5.6	–	–	0.70467	18.995	15.591	37.898
	L-2	14.3	–	–	0.70464	30.070	19.209	36.154
	L-3	17.2	–	–	0.70463	27.788	19.422	37.305
	L-4	28.2	–	–	0.70463	43.166	17.949	37.036
	L-5	16.1	–	–	0.70464	47.059	18.263	36.764
	L-6	15.1	–	–	0.70464	46.944	18.270	36.746
	L-7	3.3	–	–	0.70465	18.708	15.604	37.681
UB-209*	L-2–L-3	18.9	0.45	1280	0.70463	–	–	–
	L-4–L-6	71.1	0.06	990	0.70462	46.036	18.233	36.882

Примечание. L-2–L-3 – объединенные карбонатные фракции, полученные на второй и третьей ступенях обработки образца 0.5 N HBr; L-4–L-6 – объединенные карбонатные фракции четвертой, пятой и шестой ступеней. Звездочкой отмечен параллельный (повторный) опыт.

тать лишь средние фракции (L-4–L-6). Фракции же L-1–L-3, вероятно, включают примеси Pb поверхностных загрязнений и Pb, привнесенного эпигенетическим флюидом. Отношение $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в L-7 совпадает с отношением в холостом опыте, что обусловлено очень низким содержанием Pb в этой фракции. Отсюда следует, что для получения информации о Rb–Sr- и U–Pb-систематике наименее измененного карбонатного материала необходимо использовать только фракции L-4–L-6.

Результаты, полученные для обр. UB-209, определили оптимальный подход к изучению остальных образцов березовских известняков. В дальнейшем Rb–Sr- и U–Pb-систематика всех этих образцов изучалась в аликвотах, объединяющих материал нескольких последовательных фракций (“объединенных фракций”). Фракции (L-1–L-3), удаляемые на первых этапах обработки, отличаются от объединенной фракции (L-4–L-6), характеризующей первичный карбонатный материал, высоким со-

держанием Rb, на порядок более низким содержанием Pb, несколько повышенными величинами отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и значительно более низкими отношениями $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (табл. 1).

Измеренные значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в наименее измененной объединенной карбонатной фракции (L-4–L-6) восьми образцов бакальских известняков колеблются от 0.70457 до 0.70481. Благодаря низким величинам $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ первичные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.70456–0.70481) в этих образцах практически не отличаются от приведенных выше и сопоставимы с величинами, полученными для близких по возрасту к бакальским известнякам нижнерифейских карбонатов кютингдинской свиты Оленекского поднятия – 0.70465 [3] и карбонатных пород надсерии Белт – 0.70484–0.70514 [12].

По величине отношений Mn/Sr (<0.2) и Fe/Sr (<5) в валовой карбонатной составляющей исследу-

дованные образцы известняков удовлетворяют самым строгим геохимическим критериям сохранности [7]. Горизонтальный тренд фигуративных точек объединенных фракций L-4–L-6 в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (табл. 1) также характерен для неизмененных морских карбонатов. Поэтому можно с достаточной уверенностью полагать, что изотопный состав Sr в изученных образцах идентичен таковому в морской воде, из которой отлагались бакальские карбонатные осадки. Таким образом, отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане конца раннего и начала среднего рифея, если учесть немногочисленные известные данные для карбонатных пород этого возраста [3, 7, 12], очевидно, было низким и колебалось в интервале 0.70456–0.70514. Этот факт свидетельствует о преобладании “мантийного” Sr в палеоокеане накануне гренвилевского орогенического цикла.

Фигуративные точки объединенных фракций (L-4–L-6) бакальских известняков лежат на прямой линии в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (рис. 3). Поскольку эти фракции представляют наименее измененный первичный карбонатный материал известняков, а образцы удовлетворяют геохимическим критериям сохранности, прямая линия в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ имеет геохронологический смысл. Вычисленный возраст 1430 ± 30 млн. лет (СКВО = 4.6) отражает время раннего диагенеза карбонатных осадков бакальской свиты. Фигуративные точки фракций L-2–L-3 располагаются ниже этой изохроны, что, вероятно, объясняется обогащением этих фракций низкоррадиогенным Pb в ходе эпигенетической перекристаллизации. Полученный Pb–Pb-возраст бакальских известняков существенно моложе возраста вулканитов айской свиты (U–Pb-метод по цирконам, 1615 ± 45 млн. лет [15]), начинающей разрез бурзянской серии. В то же время он несколько древнее Rb–Sr-возраста Главной дайки (1360 ± 35 млн. лет [13]), прорывающей отложения бакальской свиты, а также U–Pb- и Rb–Sr-возраста среднерифейских машакских вулканитов (1348 ± 30 млн. лет [14]), развитых к юго-востоку от изученного района и несогласно перекрывающих отложения аналогов бакальской свиты. Следует отметить, что Pb–Pb-возраст бакальских известняков является первой прямой изотопной датировкой карбонатных пород нижнего рифея.

Надежность хемотратиграфических и возрастных данных, полученных для известняков бакальской свиты, может быть оценена как очень высокая. Такая уверенность основана на следующих фактах: 1) положение бакальских известняков в хроностратиграфической шкале верхнего протерозоя не вызывает сомнений; 2) селекция изучаемого материала опиралась на жесткие геохимические критерии сохранности; 3) вторичные

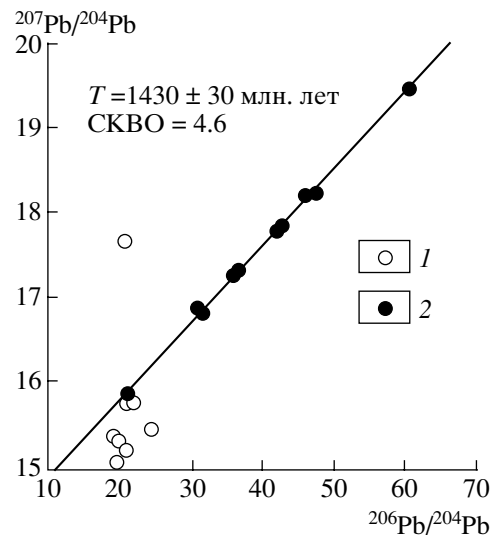


Рис. 3. Зависимость отношений $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в известняках безозовской пачки бакальской свиты. 1 – карбонатные фракции L-2–L-3; 2 – карбонатные фракции L-4–L-6.

карбонатные фазы были удалены в результате специальной лабораторной обработки; 4) Pb–Pb-возраст и Sr-изотопная характеристика известняков получены на одном и том же карбонатном материале; 5) количество изученных образцов достаточно велико.

Авторы выражают благодарность И.М. Васильевой, Б.М. Гороховскому, Е.В. Кисловой, Э.П. Кутявину и Н.Н. Мельникову за помощь в аналитической работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 00–05–72011 и 02–05–65241) и Комиссии РАН по делам молодежи (проект 301).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. McArthur J.M. // Terra Nova. 1994. V. 6. № 4. P. 331–358.
2. Jahn B.-M., Cuvellier H. // Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.). 1994. V. 115. № 1/2. P. 125–151.
3. Горохов И.М., Семихатов М.А., Баскаков А.В. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1995. Т. 3. № 1. С. 3–33.
4. Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Васильева И.М. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2001. Т. 9. № 6. С. 3–16.
5. Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Семихатов М.А. и др. // ДАН. 1997. Т. 353. № 2. С. 249–254.
6. Семихатов М.А., Овчинникова Г.В., Горохов И.М. и др. // ДАН. 2000. Т. 372. № 2. С. 216–221.
7. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М. и др. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2002. Т. 10. № 1. С. 3–46.

8. Стратотип рифея: Стратиграфия. Геохронология / Под ред. Б.М. Келлера, Н.М. Чумакова. М.: Наука, 1983. 184 с.
9. Крупенин М.Т. Условия формирования сидеритонной бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 256 с.
10. Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Крупенин М.Т. и др. В кн.: Осадочные бассейны Урала и прилегающих регионов: закономерности строения и минерагения. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 106–111.
11. Bailey T.R., McArthur J.M., Prince H. et al. // Chem. Geol. 2000. V. 167. № 3/4. P. 313–319.
12. Hall S., Veizer J. // Geochim. et cosmochim. acta. 1996. V. 60. № 4. P. 667–677.
13. Эльмис Р., Крупенин М.Т., Богатов В.И. и др. В кн.: Материалы II Всерос. петрогр. совещ. “Петрография на рубеже XXI века (итоги и перспективы)”. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2000. Кн. 4. С. 228–230.
14. Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 150 с.
15. Краснобаев А.А., Бибикина Е.В., Ронкин Ю.Л. и др. // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 6. С. 25–40.