

УДК 550.93:551.72

## SR-ИЗОТОПНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И Pb–Pb-ВОЗРАСТ МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИХ КАРБОНАТОВ КИРГИЗСКОГО СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

© 2022 г. Член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов<sup>1,\*</sup>, Д. В. Алексеев<sup>2</sup>, О. К. Каурова<sup>1</sup>, Д. Р. Ситкина<sup>1</sup>

Поступило 17.05.2022 г.

После доработки 03.06.2022 г.

Принято к публикации 06.06.2022 г.

Впервые проведено Sr-хемостратиграфическое и Pb–Pb-изотопно-геохронологическое изучение докембрийских карбонатных пород Северного Тянь-Шаня. Объектом исследования в Кочкорском антиклинории стали известняки сенкельтейской свиты, а в Бурханском антиклинории – известняки суекской свиты. Полученные Sr-изотопные данные показывают, что сенкельтейская и суекская свиты представляют два разновозрастных горизонта в пределах верхнего мезопротерозоя (среднего рифея). Отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в известняках сенкельтейской свиты заключено в пределах 0.70536–0.70571, а в известняках суекской свиты – 0.70559–0.70573. Pb–Pb-возраст известняков суекской свиты из разреза на перевале Суек составляет  $1080 \pm 12$  млн лет, что согласуется с оценками возраста свиты по данным Sr-хемостратиграфии. Новые данные исключают предположение о палеозойском возрасте суекской свиты, а экзотические находки спикул губок в ней представляются артефактом. С учетом определенного ранее возраста сенкельтейской свиты, минимальные значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.70536–0.70539) в ее известняках определяют новую Sr-изотопную метку для мезопротерозойского океана 1150–1170 млн лет назад. Sr-изотопные данные, полученные для сенкельтейской и суекской свит, свидетельствуют о последовательном росте отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в мезопротерозойском океане в первой половине стения (конец среднего рифея).

*Ключевые слова:* Sr-хемостратиграфия, геохронология, рифей, мезопротерозой, Северный Тянь-Шань

DOI: 10.31857/S2686739722600758

### ВВЕДЕНИЕ

Метод Sr-изотопной хемостратиграфии (Strontium Isotope Stratigraphy – SIS), успешно рекомендовавший себя при изучении карбонатных разрезов фанерозоя, все шире используется при изучении докембрия и становится одним из важнейших источников информации о возрасте докембрийских карбонатных пород [7, 8, 16, 20]. Однако возможности метода SIS для корреляции в докембрии ограничены фрагментарностью кривой вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  особенно для пород с возрастными 850–1000 и 1050–1450 млн лет [7, 16, 19]. В связи с этим поиск новых объектов, имеющих изотопно-геохронологическую характеристику, является одной из приоритетных за-

дач для расширения базы данных докембрийской SIS.

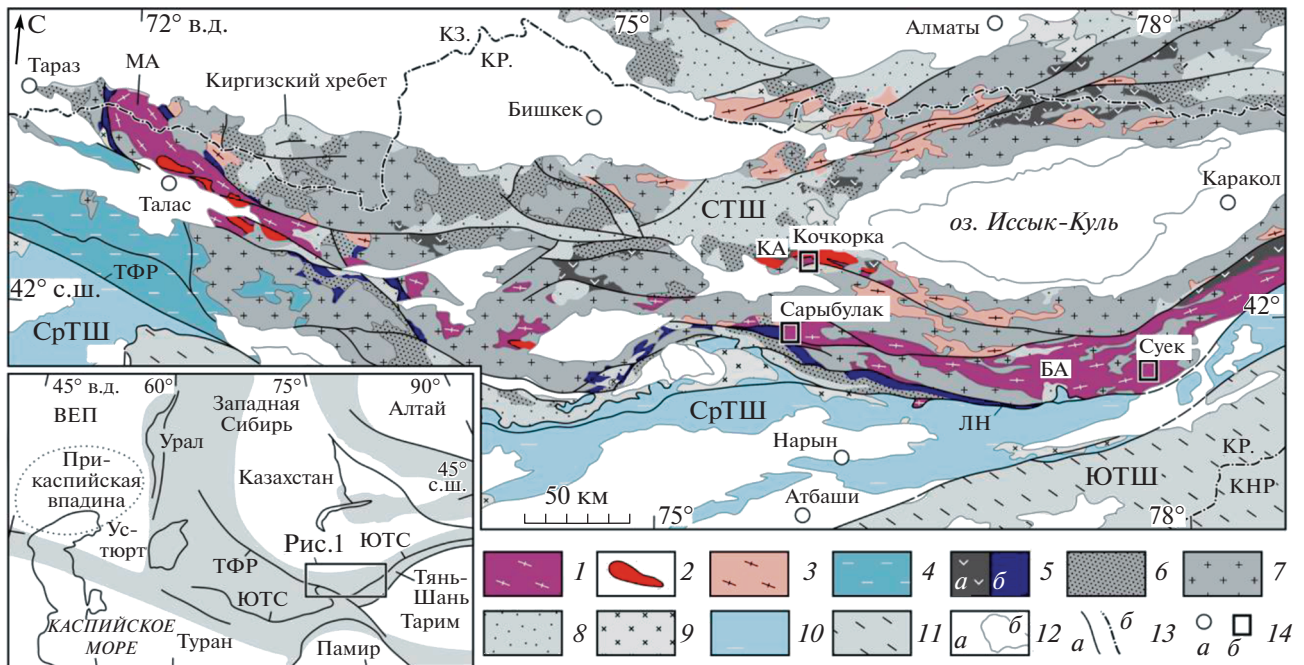
В настоящее время значительная часть докембрийских карбонатных пород в разрезах древних кратонов уже изучена, поэтому интерес приобретают разрезы докембрийских микроконтинентов, сохранившихся в фанерозойских складчатых поясах, в частности – в Центрально-Азиатском (Урало-Монгольском) складчатом поясе. Одним из таких объектов являются докембрийские карбонатные породы Северо-Тянь-Шаньского микроконтинента, простирающегося от западного окончания Киргизского хребта до районов восточнее оз. Иссык-Куль (рис. 1) [2, 3, 17].

Карбонатные породы в Северном Тянь-Шане наиболее широко развиты в разрезах сенкельтейской и суекской свит, обнажающихся соответственно в Кочкорском и Бурханском антиклинориях (рис. 1). Сенкельтейская свита имеет геохронологически подтвержденный мезопротерозойский возраст [18]. Вопрос о возрасте суекской свиты остается дискуссионным, и по определениям окаме-

<sup>1</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия  
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Геологический институт Российской академии наук,  
Москва, Россия

\*E-mail: antonbor9@mail.ru



**Рис. 1.** Геологическая карта Северного Тянь-Шаня (СТШ) по [15] с изменениями. На врезке – положение СТШ в структуре Урало-Монгольского пояса. 1–3 – комплексы основания Северо-Тянь-Шаньского микроконтинента: 1 – палео(?)- и мезопротерозойские метаморфические толщи, 2 – мезопротерозойские гранито-гнейсы, 3 – неопротерозойские и раннепалеозойские метаморфические комплексы; 4 – неопротерозойские и раннепалеозойские толщи Каратау-Таласской зоны СТШ; 5 – кембрийские и нижнеордовиковские вулканиты континентального блока СТШ (а) и океанической дуги и офиолитов Киргизско-Терской зоны (б); 6 – терригенные и вулканические толщи ордовика и силура; 7 – раннепалеозойские гранитоиды; 8 – позднепалеозойские гранитоиды; 9 – позднепалеозойские гранитоиды; 10 – Срединный Тянь-Шань; 11 – Южный Тянь-Шань; 12 – отложения мезозоя и кайнозоя (а), водоем, ледник (б); 13 – разлом (а), государственная граница (б); 14 – город (а), изученный разрез (б). БА – Бурханский антиклинорий, КА – Кочкорский антиклинорий, МА – Макбальский антиклинорий, СТШ, СрТШ и ЮТШ – Северный, Срединный и Южный Тянь-Шань соответственно, ТФР – Таласо-Ферганский разлом, ЛН – Линия Николаева, ЮТС – Южно-Тянь-Шаньская сутура, ВЕП – Восточно-Европейская платформа, КНР – Китайская Народная Республика.

нелостей она относилась как к мезопротерозою, так и к нижнему палеозою [3–5, 13].

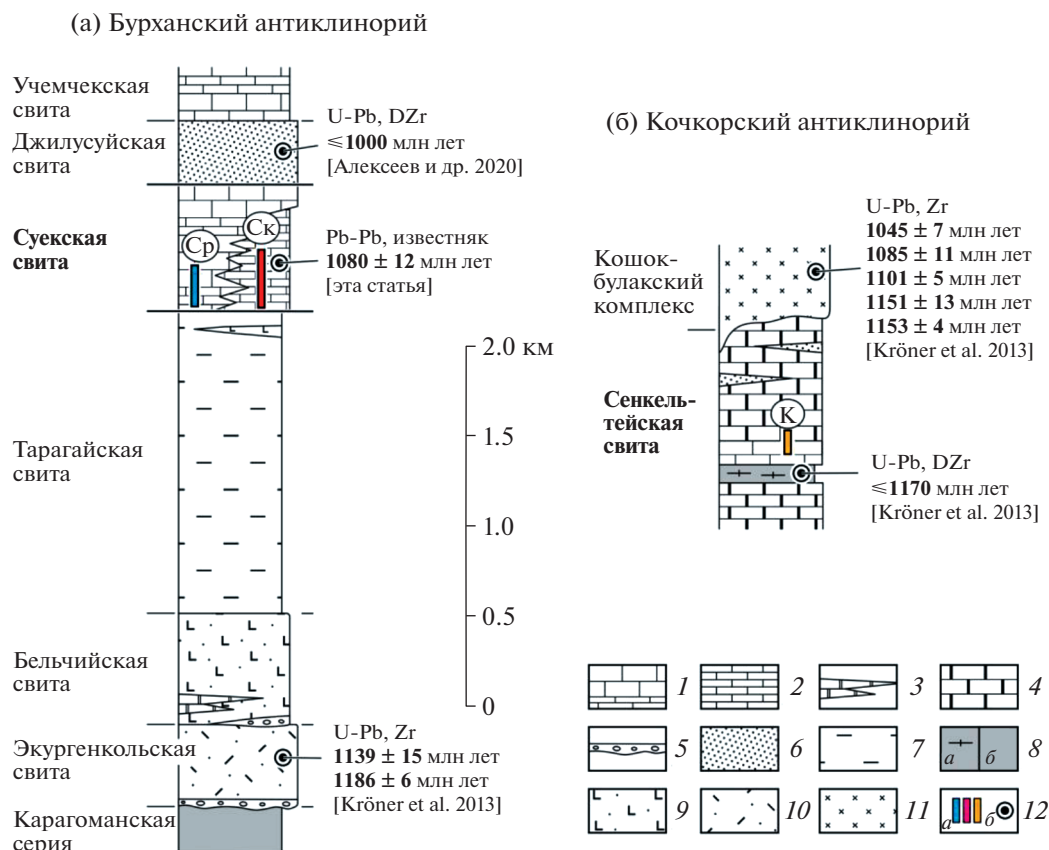
Мы провели геохимическое, Sr-хемостратиграфическое (SIS) и Pb–Pb-изотопно-геохронологическое исследование известняков суекской и сенкельтейской свит. В результате получены первые Sr-хемостратиграфические характеристики докембрийских карбонатов Северного Тянь-Шаня, уточнен возраст свит, а также расширены представления о вариациях отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водах мезопротерозойского океана.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Докембрийские стратифицированные толщи на территории восточной части Северного Тянь-Шаня обнажаются в пределах Бурханского и Кочкорского антиклинориев (рис. 1) [3, 4, 10, 13].

В Бурханском антиклинории, находящемся южнее оз. Иссык-Куль (рис. 1), породы докембрия образуют систематическую последовательность свит, прослеживающихся на протяжении более 250 км вдоль простирания структур (рис. 2 а).

Породы деформированы в относительно простые складки и метаморфизованы в обстановках филлитовой и зеленосланцевой фаций. В основании докембрийского разреза Бурханского антиклинория обнажаются слюдястые сланцы, филлиты, метапесчаники и гнейсы карагоманской серии [3, 4, 13]. На них несогласно, иногда с базальными конгломератами залегают порфирииды, риолиты, дациты и кислые туфы экургенкольской свиты, сменяющиеся с резким контактом вверх по разрезу массивными и миндалекаменными базальтами и туфами бельчийской свиты. В подошве бельчийской свиты отмечаются линзы конгломератов, а в нижней части разреза – горизонты доломитов. Совместное развитие пород кислого и основного состава предполагает, что вулканиты экургенкольской и бельчийской свит могут представлять бимодальную серию, формировавшуюся в рифтогенной обстановке [3]. Оценки U–Pb-возраста цирконов из порфириидов экургенкольской свиты дают значения  $1139 \pm 15$ ,  $1186 \pm 6$ ,  $1365 \pm 6$  и  $1373 \pm 5$  млн лет (SHRIMP, [18]). Выше по разрезу лежит мощная (до 1.5 км), литологиче-



**Рис. 2.** Схематические разрезы докембрия Бурханского и Кочкорского антиклинориев. 1–4 – карбонатные породы: 1 – мелководные известняки; 2 – склоновые и бассейновые известняки; 3 – доломиты; 4 – мраморы. 5 – конгломераты; 6 – кварцевые песчаники и кварциты; 7 – филлиты; 8 – биотитовые сланцы (а), сланцы и гнейсы (б); 9 – базальты; 10 – кислые эффузивы; 11 – гранито-гнейсы; 12 – изученные разрезы (а), геохронологические пробы (б). Сокращенные названия разрезов: Ср – Сарыбулак, Ск – Суек, К – Кочкорка.

ски однородная толща филлитов и серицит-хлоритовых сланцев, выделяемая как тарагайская свита, которая с постепенным переходом перекрывается карбонатами суекской свиты [4].

В западной части Бурханского антиклинория у пос. Сарыбулак (рис. 1) суекская свита сложена мелководными массивными и грубо-плитчатыми светло-серыми известняками с прослоями желтоватых мергелей и горизонтами доломитов в верхней части разреза. На востоке, в районе перевала Суек (рис. 1), в разрезе свиты преобладают известняковые турбидиты, дебрисные брекчии и тонкоплитчатые полосчатые темно-серые известняки (рис. 2 а). В районе пос. Сарыбулак в суекской свите были определены онколиты *Osagia tenuilamellata* Reitl., входящие в состав среднерифейского комплекса микрофитолитов, а в районе р. Куйлю на востоке антиклинория собраны строматолиты среднерифейского облика [13]. В западной части Киргизского хребта (рис. 1) в разрезах терсбутацкой свиты, являющейся стратиграфическим аналогом суекской свиты, определены строматолиты *Baicalica baicalica* (Masl.) и *Baicalica*

*kirgisica* Kryl. характерные для среднерифейских отложений Урала [6]. Однако в суекской свите также были отмечены находки спикул губок, предполагающие раннепалеозойский возраст пород [5]. Вследствие противоречивых определений окаменелостей, в разных работах суекская свита относится как к среднему рифею [4, 13], так и к нижнему палеозою [3, 5].

На суекской свите согласно лежат кварцито-видные песчаники, кварциты и сланцы джилусуйской свиты, относившейся различными авторами к рифею [13] или кембрию [3, 4]. Минимальный U–Pb-возраст обломочного циркона определяет максимальный возраст кварцитов – около 1 млрд лет [1]. Разрез венчается грубо- и тонко-слоистыми известняками, глинистыми известняками и доломитами учемчекской свиты [3, 4].

Кочкорский антиклинорий, протягивающийся на 60–70 км в широтном направлении между Иссык-Кульской и Кочкорской впадинами (рис. 1), сложен мезопротерозойскими метаосадочными породами сенкельтейской свиты и гранито-гнейсами кошокбулакского комплекса [3, 4]. В разре-

зе сенкельтейской свиты преобладают мраморы, мраморизованные известняки и углеродистые известняки. В подчиненных количествах присутствуют биотитовые сланцы, слагающие пачки мощностью в десятки метров, и горизонты кварцитов [4, 5] (рис. 2 б). Породы кошокбулакского комплекса представлены гнейсовидными гранитами, полосчатыми и очковыми гнейсами, в меньшей степени – аплитовидными гнейсами. U–Pb-возраст обломочного циркона из биотитовых сланцев сенкельтейской свиты определяет максимальный возраст осадочного протолита как ~1170 млн лет [18]. С учетом того, что для гнейсов кошокбулакского комплекса получены U–Pb (SHRIMP)-датировки от 1150 до 1045 млн лет [18], возраст сенкельтейской свиты может быть оценен в интервале 1170–1150 млн лет (рис. 2).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Карбонатные толщи Северного Тянь-Шаня были изучены в трех пересечениях на участках Сарыбулак, Суек и Кочкорка (рис. 1).

Известняки суекской свиты изучены в разрезах Сарыбулак и Суек, находящихся соответственно в западной и восточной частях Бурханского антиклинория (рис. 1). Разрез Сарыбулак проходит севернее одноименного поселка на трассе Бишкек-Нарын, в восточном борту долины между точками 41°59'28" с.ш. 75°42'59" в.д. и 41°59'20" с.ш. 75°43'07" в.д. Пять образцов отобрано из массивных и плитчатых светло-серых афанитовых известняков.

Разрез на перевале Суек (высота 4030 м), являющийся стратотипическим для суекской свиты, изучен в скальных выходах и дорожных врезях западнее перевала между точками 41°46'58" с.ш., 77°45'23" в.д. и 41°47'15" с.ш. 77°45'26" в.д. Для изотопного исследования отобрано 11 образцов из светло-серых средне-плитчатых известняковых турбидитов и черных тонкоплитчатых пелитоморфных известняков, слагающих межтурбидитовые прослои.

Полосчатые и массивные серые мраморы сенкельтейской свиты (5 образцов) были отобраны на участке Кочкорка на СВ-замыкании одноименной впадины (рис. 1) около шоссе Бишкек-Нарын в районе точки 42°15'59" с.ш. 75°51'15" в.д.

Образцы для изотопного изучения отбирались из наименее метаморфизованных разновидностей, лишенных кальцитовых жил, следов ожелезнения и признаков выветривания. Во всех отобранных образцах определены содержания Ca, Mg, Mn, Fe и Sr в карбонатной составляющей образцов атомно-эмиссионным методом (спектрометр ICAP-7200) после растворения образца в 0.6N HCl.

При изучении Rb–Sr-систематики навеска образца предварительно обрабатывалась 0.1 N рас-

твором HCl для обогащения первичным карбонатным материалом [19]. Изотопный состав Sr измерялся в обогащенных карбонатных фракциях на масс-спектрометре Triton TI. Для калибровки использованы межлабораторные стандарты NIST SRM-987 и EN-1, среднее значение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в которых равнялось  $0.710275 \pm 0.000008$  ( $2\sigma_{\text{средн.}}, n = 54$ ) и  $0.709202 \pm 0.000006$  ( $2\sigma_{\text{средн.}}, n = 26$ ) соответственно.

При изучении U–Pb-систематики наименее измененных образцов известняков проводилась предварительная химическая обработка образцов в 0.03N HCl, что позволило удалить поверхностные загрязнения [11, 12]. Далее образцы растворялись в 1N HCl при комнатной температуре с выделением обогащенной карбонатной составляющей. Pb выделялся на анионообменной смоле Bio-Rad 1x8 в 0.5 N растворе HBr. Изотопный состав Pb измеряли на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI с Re-лентами. Возраст рассчитан с использованием программы Isoplot v.4.15, погрешности при вычислении изохроны составили для отношения  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 0.10\%$  и  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 0.14\%$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Все изученные образцы карбонатных пород сенкельтейской и суекской свит сложены кальцитом ( $\text{Mg}/\text{Ca} = 0.003\text{--}0.12$ ). Содержание силикатной примеси в большинстве образцов невысокое от 0.9 до 6.3%. Лишь в одном образце из суекской свиты повышается до 24% (табл. 1). Наблюдаемые вариации содержаний примесных элементов могут отражать различия фациальных обстановок и различную степень эпигенетической перекристаллизации пород. Важно отметить, что содержание Sr в большинстве изученных известняков (400–1800 мкг/г) является очень высоким в сравнении с докембрийскими карбонатными породами как метаморфизованными, так и метаморфизованными [9, 16, 19, 20]. Это предполагает присутствие арагонита в исходном карбонате осадке [16, 19]. Повышенные содержания Mn и Fe в известняках разреза Сарыбулак предполагают, что эти породы подверглись большей перекристаллизации, чем известняки в разрезе Суек и Кочкорка. Среди изученных образцов, четыре из сенкельтейской свиты и пятнадцать из суекской свиты в полной мере удовлетворяют геохимическим критериям сохранности Rb–Sr-систем докембрийских осадочных известняков –  $\text{Mg}/\text{Ca} < 0.003$ ,  $\text{Mn}/\text{Sr} < 0.2$ ,  $\text{Fe}/\text{Sr} < 3$  [7, 8]. Концентрация Rb в образцах варьирует от 0.06 до 0.22 мкг/г, что при высоких концентрациях Sr (400–1800 мкг/г) определяет очень незначительную поправку (менее 0.00002)

**Таблица 1.** Геохимическая, Sr- и Pb-изотопная характеристика карбонатной составляющей известняков суекской и сенкельтейской свит, Северный Тянь-Шань

Обр.	Доля СП <sup>1</sup> %	Mn мкг/г	Fe мкг/г	Sr мкг/г	Mg/Ca	Mn/Sr	Fe/Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sup>2</sup>	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
Суекская свита, разрез Суек										
A1603-3	5.4	16	410	910	0.011	0.03	0.5	<b>0.70563</b>	30.255	16.229
A1603-4	2.8	60	360	640	0.006	0.09	0.6			
A1603-5	4.5	46	220	1470	0.008	0.03	0.1	<b>0.70565</b>	89.071	20.689
A1603-6	3.9	45	220	720	0.009	0.06	0.3			
A1603-7	2.1	14	74	1560	0.011	0.02	0.1	<b>0.70559</b>	53.092	17.914
A1603-8	3.0	41	194	1120	0.014	0.04	0.2			
A1603-9	2.0	74	297	1630	0.004	0.05	0.2			
A1605	1.7	14	46	470	0.007	0.01	0.1	<b>0.70561</b>	87.321	20.568
A1615-2	1.6	12	46	1800	0.003	0.01	0.1	<b>0.70562</b>	257.094	33.330
A1615-3	5.0	12	112	350	0.014	0.02	0.1	<b>0.70566</b>	72.011	19.381
A1615-4	6.2	18	195	1090	0.006	0.05	0.6			
Суекская свита, разрез Сарыбулак										
A1527-1	23.8	210	5080	420	0.03	0.50	12.1			
A1527-2	0.9	36	1360	760	0.01	0.05	1.8	<b>0.70573</b>		
A1527-3	6.5	157	3340	490	0.12	0.32	6.8	0.70916		
A1527-4	2.2	160	2400	760		0.21	3.2	0.70630		
A1527-5	7.5	140	1860	260	0.01	0.54	7.2			
Сенкельтейская свита, разрез Кочкорка										
A1526-1	2.3	51	1300	970		0.05	1.3	<b>0.70539</b>		
A1526-2	5.5	88	690	850	0.01	0.10	0.8	<b>0.70536</b>		
A1526-3	8.3	77	720	430	0.01	0.18	1.7			
A1526-4	6.0	129	1010	1320	0.02	0.10	0.8	<b>0.70565</b>		
A1526-5	4.9	50	580	260	0.01	0.19	2.2	<b>0.70571</b>		

Примечание. 1 – силикатная примесь. 2 – жирным шрифтом выделены образцы, удовлетворяющие геохимическим критериям сохранности.

измеренного отношения <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr при коррекции на предполагаемый возраст пород.

Отношение <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr в шести образцах суекской свиты из разреза Суек лежит в интервале 0.70559–0.70566, а в одном наименее измененном образце из разреза Сарыбулак составляет 0.70573. Отношение <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr в двух измененных (Mn/Sr 0.21–0.32 и Fe/Sr 3.2–6.7) образцах из суекской свиты в разрезе Сарыбулак повышается до 0.70630 и 0.70916. Отношение <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr в образцах сенкельтейской свиты составляет 0.70536–0.70574 (табл. 1).

Для изотопно-геохронологического изучения было выбрано шесть наименее измененных образцов известняков суекской свиты из разреза Суек, удовлетворяющих геохимическим критериям сохранности (Mg/Ca < 0.03, Mn/Sr < 0.03 и Fe/Sr < 0.5). Отношение <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb в изученных образцах варьирует в широких пределах от 30.255

до 257.094, а отношение <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb – от 16.129 до 33.330 (табл. 1). Эти вариации указывают на значительное обогащение первичных карбонатных осадков ураном, а присутствие радиогенного свинца в изученных образцах известняков предполагает отсутствие эпигенетической перекристаллизации пород [11, 12]. Рассчитанное значение Pb–Pb-возраста для известняков суекской свиты составляет 1080 ± 12 млн лет, СКВО = 6.4 (рис. 3).

## ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Полученная Sr-изотопная характеристика карбонатных пород суекской (0.70559–0.70573) и сенкельтейской (0.70536–0.70574) свит подтверждает их позднедокембрийский возраст. Вместе с этим наблюдаемое различие доказывает, что эти свиты относятся к разным стратиграфическим горизонтам.



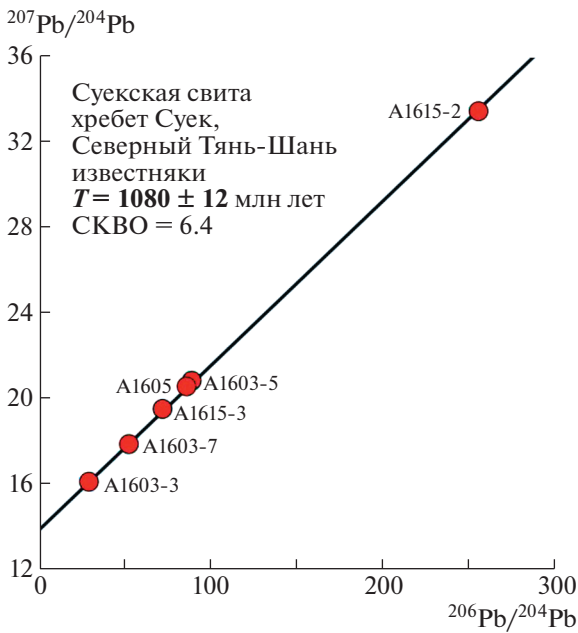


Рис. 3. Изохрона в координатах  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  –  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  для наименее измененных известняков суекской свиты из разреза Суек.

Низкие отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в известняках суекской свиты в разрезах Суек (0.70536–0.70566) и Сарыбулак (0.70573) исключают их отложение в палеозойском океане, в котором отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  было выше 0.7074 (рис. 4 а). Таким образом, находки спикул губок в суекской свите [5] являются артефактом, а породы свиты в изученных разрезах не могут относиться к нижнему палеозою.

Полученный Pb–Pb-возраст ( $1080 \pm 12$  млн лет) известняков суекской свиты является первой прямой датировкой карбонатных пород Северо-Тянь-Шаньского микроконтинента. Этот возраст указывает на принадлежность свиты к мезопротерозою или среднему рифею ОСШ [14], что согласуется с описаниями строматолитов среднерифейского облика в суекской свите [13] и ее аналогах [6]. Sr-изотопная характеристика известняков суекской свиты близка к таковой в отложениях конца среднего рифея (1030–1050 млн лет назад) – малгинской свиты Учуро-Майского региона (0.70563–0.70592) и сухотунгусинской свиты Туруханского поднятия Сибири – (0.70567–0.70585) [7, 8, 14]. Формально значение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в одном образце известняка суекской свиты из разреза Сарыбулак допускает возраст в интервале 1040–1080 млн лет, что в пределах ошибок измерения согласуется с геохронологической оценкой возраста суекской свиты в разрезе Суек.

Новые Sr-изотопные данные по суекской свите дополняют кривую вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в среднерифейском океане новым фрагментом для возраста 1080 млн лет назад (рис. 4 б). До этого сведения об изотопном составе Sr в океане среднего рифея (1400–1030 млн лет) относились только к отложениям моложе 1050 млн. лет назад. Единственной точкой для кривой вариаций середины среднего рифея были известняки и гипсы формации Сосайте Клифс Северной Канады с возрастом около 1200 млн лет (см. обзор [7, 8]). Таким образом, наиболее важным результатом для мезопротерозойской SIS следует признать значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в карбонатах сенкельтейской свиты. Возраст сенкельтейской свиты оценивается в

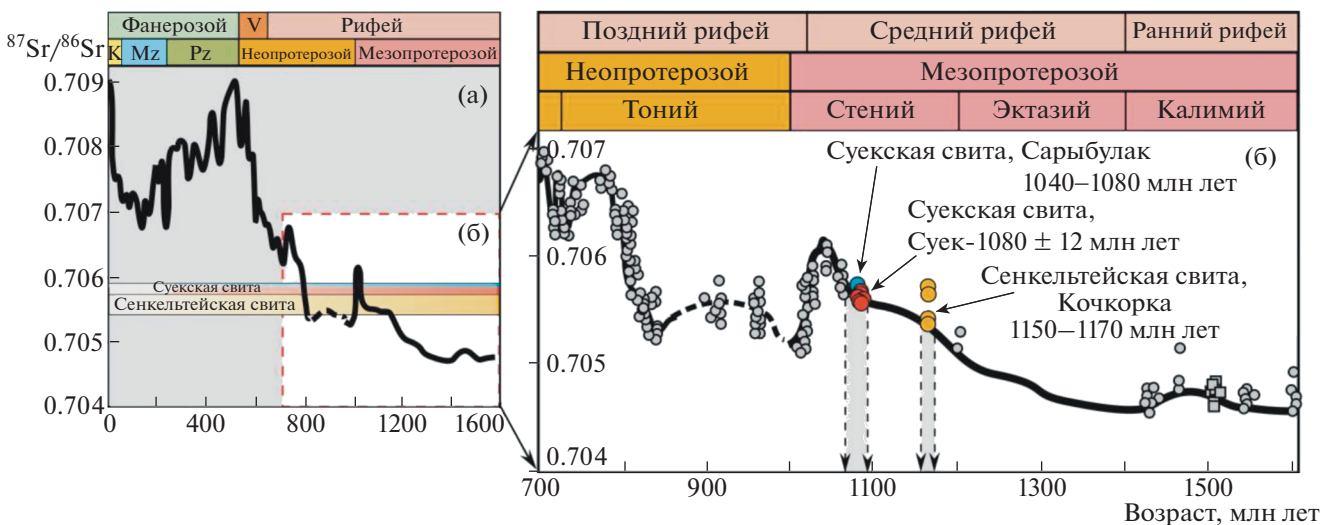


Рис. 4. Сопоставление значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в наименее измененных известняках суекской и сенкельтейской свит (а) с кривой вариаций отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в фанерозойских и позднепротерозойских океанах [8] и (б) детализированной кривой вариаций  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в океане позднего протерозоя [7, 16, 19].

пределах ~1150–1170 млн лет по результатам U–Pb-датирования магматического циркона из прорывающих интрузий и обломочного циркона в породах свиты [18]. Это позволяет сказать, что нами получена новая Sr-изотопная метка (0.70536–0.70539) для кривой вариаций изотопного состава Sr в среднерифейском океане в интервале 1150–1170 млн лет назад (рис. 4 б). Согласно международной шкале, два новых фрагмента характеризуют начало и середину стения мезопротерозоя. Таким образом, новые данные показывают, что отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в первой половине стения увеличивалось от 0.70518 через 0.70536–0.70539 до 0.70536–0.70566.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны К.Е. Дегтяреву за плодотворное обсуждение результатов.

### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Изотопные и геохронологические работы выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект № 18-17-00247-П) и при использовании оборудования ЦКП АИРИЗ (ИГГД РАН). Полевые работы в Тянь-Шане проводились при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00252).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Д.В., Худoley А.К., Дюфрэйз С.Э. Палеопротерозойские и неопротерозойские кварциты киргизского Северного Тянь-Шаня: обоснование возраста по результатам датирования обломочных цирконов // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 491. № 2. С. 5–9.
2. Бакиров А.Б., Максумова Р.А. Геодинамическая эволюция литосферы Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1435–1443.
3. Бакиров А.Б., Гесь М.Д., Дженчураева Р.Д., Киселев В.В., Максумова Р.А., Мезгин И.А., Пак Н.Т., Сабельников С.Е., Сакиев К.С. Геодинамика и оруденение Тянь-Шаня (Кыргызстан). Бишкек: Илим, 2014. 278 с.
4. Дженчураева А.В., Захаров И.Л., Жуков Ю.В., Гетман О.Ф., Максумова Р.А., Неевин А.В., Ногаева Л.П., Риненберг Р.Е. Стратифицированные образования Кыргызстана. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2015. 338 с.
5. Клишевич В.Л., Семилеткин С.А. Терригенно-карбонатные комплексы нижнего палеозоя западной части Северного и Среднего Тянь-Шаня // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1995. Т. 70. Вып. 2. С. 59–74.
6. Крылов И.Н. Рифейские и нижнекембрийские строматолиты Тянь-Шаня и Каратау. Геологический институт, Труды Вып. 171. Москва: Наука, 1967. 89 с.
7. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Возможности стронциевой изотопной хемотратиграфии в решении проблем стратиграфии верхнего протерозоя (рифей и венда) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 6. С. 3–25.
8. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемотратиграфия: Основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
9. Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Азимов П.Я., Дубинина Е.О. Sr- и С-хемотратиграфический потенциал палеопротерозойских осадочных карбонатов в условиях среднетемпературного метаморфизма: мраморы Рускеалы, Карелия // Петрология. 2021. Т. 29. № 2. С. 172–194.
10. Миколайчук А.В., Куренков С.А., Дегтярев К.Е., Рубцов В.И. Основные этапы геодинамической эволюции Северного Тянь-Шаня в позднем докембрии – раннем палеозое // Геотектоника. 1997. № 6. С. 16–34.
11. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Мележик В.А., Горохов И.М., Васильева И.М., Гороховский Б.М. Pb–Pb возраст ятулийских карбонатных пород: туломозерская свита юго-восточной Карелии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2007. Т. 15. № 4. С. 20–33.
12. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Летникова Е.Ф., Гороховский Б.М. U–Pb возраст и Sr-изотопная характеристика известняков неопротерозойской цаганоломской свиты, бассейн р. Дзабхан, Западная Монголия // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 28–40.
13. Осмонбетов К.О., Кнауф В.И., Королев В.Г. (ред.) Стратифицированные и интрузивные образования Киргизии. Фрунзе: Илим, 1982. Т. 1. 357 с.
14. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России: эволюция взглядов и современная оценка // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2015. Т. 23. № 6. С. 16–27.
15. Alexeiev D.V., Kröner A., Kovach V.P., Tretyakov A.A., Rojas-Agramonte Y., Degtyarev K.E., Mikolaichuk A.V., Wong J., Kiselev V.V. Evolution of Cambrian and Early Ordovician arcs in the Kyrgyz North Tianshan: Insights from U–Pb zircon ages and geochemical data // Gondwana Res. 2019. V. 66. P. 93–115.
16. Chen X., Ying Zhou Y., Shields G.A. Progress towards an improved Precambrian seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  curve // Earth-Science Reviews. 2022. V. 224. P. 103869.
17. Degtyarev K.E., Yakubchuk A.S., Tretyakov A.A., Kotov A.B., Kovach V.P. Precambrian geology of the Kazakh Uplands and the Tien Shan: An Overview. Gondwana Res. 2017. V. 47. P. 44–75.
18. Kröner A., Alexeiev D.V., Rojas-Agramonte Y., Hegner E., Wong J., Belousova E., Mikolaichuk A.V., Seltmann R., Liu D., Kiselev V.V. Mesoproterozoic (Grenville-age) terranes in the Kyrgyz North Tianshan: Zircon ages and Nd–Hf isotopic constraints on the origin and evolution of basement blocks in the southern Central Asian Orogen // Gondwana Research. 2013. V. 23. P. 272–295.
19. Kuznetsov A.B., Bekker A., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Vasilyeva I.M. Unradiogenic strontium and

- moderate-amplitude carbon isotope variations in early Tonian seawater after the assembly of Rodinia and before the Bitter Springs Excursion // *Precambrian Res.* 2017. V. 298. P. 157–173.
20. *Melezhik V.A., Ihlen P.M., Kuznetsov A.B., Gjelle S., Solli A., Gorokhov I.M., Fallick A.E., Sandstad J.S., Bjerkgård T.* Pre-Sturtian (800–730 Ma) depositional age of carbonates in sedimentary sequences hosting stratiform iron ores in the Uppermost Allochthon of the Norwegian Caledonides: a chemostratigraphic approach // *Precambrian Research.* 2015. V. 261. P. 272–299.

## Sr-ISOTOPE SIGNATURE AND Pb-Pb AGE OF MESOPROTEROZOIC CARBONATES OF THE KYRGYZ NORTH TIANSHAN

Corresponding Member of the RAS **A. B. Kuznetsov<sup>a,#</sup>, D. V. Alexeiev<sup>b</sup>, O. K. Kaurova<sup>a</sup>, and D. R. Sitkina<sup>a</sup>**

<sup>a</sup> *Institute of Precambrian geology and geochronology, St. Petersburg, Russian Federation*

<sup>b</sup> *Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: antonbor9@mail.ru*

For the first time, Sr-chemostratigraphic study and Pb-Pb isotope dating of Precambrian carbonates of the Kyrgyz North Tianshan were carried out. The studied objects were the limestone of the Senkeltei Formation in the Kochkor anticlinorium, and limestone of the Suek Formation in the Burkhan anticlinorium. The obtained Sr-isotope data indicate that the Suek and Senkeltei formations represent two horizons of different ages within the upper Mesoproterozoic (Middle Riphean). The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in the limestones of the Senkeltei Formation is within 0.70536–0.70571, and in the limestones of the Suek Formation it is 0.70559–0.70573. The Pb-Pb age of limestones of the Suek Formation from the section at the Suek Pass is  $1080 \pm 12$  Ma, and is consistent with the age estimates from Sr-chemostratigraphic data. The new data rule out the suggestion of a Paleozoic age for the Suek Formation, and exotic finds of sponge spicules in it appear to be an artifact. Taking into account the previously determined age of the Senkeltei Formation, the lowest values of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.70536–0.70539) in the limestones determine a new Sr isotope signature of the Mesoproterozoic ocean for 1150–1170 Ma. Sr-isotope data obtained for the Senkeltei and Suek formations indicate steady increase of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in the Mesoproterozoic ocean in the early and middle Stenian (late Middle Riphean).

*Keywords:* Sr-chemostratigraphy, geochronology, Riphean, Mesoproterozoic, North Tianshan