

УДК 550.93

Sr-ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ВОДЫ ПАЛЕООКЕАНА 960 МЛН ЛЕТ НАЗАД (ПО ДАННЫМ ДЛЯ НИЖНЕТУНГУССКОЙ СВИТЫ ТУРУХАНСКОГО ПОДНЯТИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

© 2023 г. Е. Ф. Летникова^{1,2,*}, А. А. Жданов¹, А. В. Иванов¹,
член корреспондент РАН А. В. Маслов^{1,3}, А. Э. Изох¹, А. Ф. Летникова⁴, Н. Г. Солошенко⁵

Поступило 10.05.2023 г.

После доработки 11.07.2023 г.

Принято к публикации 14.07.2023 г.

Изотопный состав Sr в карбонатных породах с возрастом 980–920 млн лет определен в единственном разрезе Мира — формации Huainan Северо-Китайской платформы, время накопления которой ограничено по данным U–Pb-датирования зерен обломочного циркона. Нами в верхней части нижнетунгусской свиты Туруханского поднятия среди карбонатных отложений установлено присутствие измененных вулканитов и продуктов коры выветривания по ним — бедных бокситовых и шамозитовых руд. На основе изотопного U–Pb-датирования циркона возраст вулканитов составляет 963 млн лет. Для наименее измененных известняков верхней части нижнетунгусской свиты получены значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.70532–0.70578, близкие к тем, что установлены в породах формации Huainan. Информация о геохронологическом возрасте изученных известняков дает возможность получить более корректные данные, что позволяет уточнить предложенную ранее конфигурацию кривой вариаций изотопного состава Sr в раннем неопротерозе. Нижнетунгусская свита выгодно отличается от формации Huainan тем, что является единственной корректно геохронологически обоснованной (по циркону из субсинхронных вулканитов) карбонатной последовательностью раннего неопротероза в Море.

Ключевые слова: Сибирская платформа, вулканиты, ранний неопротерозой, хемотратиграфия, детритовые цирконы

DOI: 10.31857/S2686739723600960, **EDN:** KZTHJW

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент в мировой практике отсутствуют изотопные данные для карбонатных пород раннего неопротероза с установленным геохронологическим возрастом этих отложений [1]. Для временного интервала 920–980 млн лет получены данные об изотопном составе Sr и C карбонатных пород в единственном разрезе, где огра-

ничение времени накопления основано на данных о возрасте детритовых цирконов — это карбонатная последовательность формации Huainan Северо-Китайской платформы [2, 3].

Для Северной Евразии одним из типовых разрезов позднего мезопротероза и раннего неопротероза являются терригенно-карбонатные последовательности Туруханского поднятия северо-запада Сибирской платформы (рис. 1) [4]. Их накопление протекало в мелководных обстановках карбонатной платформы в отливно-приливной зоне [5]. В разрезе преобладают карбонатные отложения, среди терригенных пород выделяют кварцевые, кварц-полевошпатовые и полимиктовые песчаники, аргиллиты. Источниками обломочного материала для терригенных пород служили архейские и палеопротерозойские породы фундамента Сибирской платформы [6]. Возраст отложений Туруханского поднятия определен на основе Pb–Pb-датирования карбонатных пород сухотунгусской свиты, который составляет 1035 ± 60 млн лет [7]. Проявлений тектоно-магматической активности в этой части

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

³Геологический институт Российской академии наук,
Москва, Россия

⁴Иркутский государственный университет,
Иркутск, Россия

⁵Институт геологии и геохимии им А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

*E-mail: efletnik@igm.nsc.ru

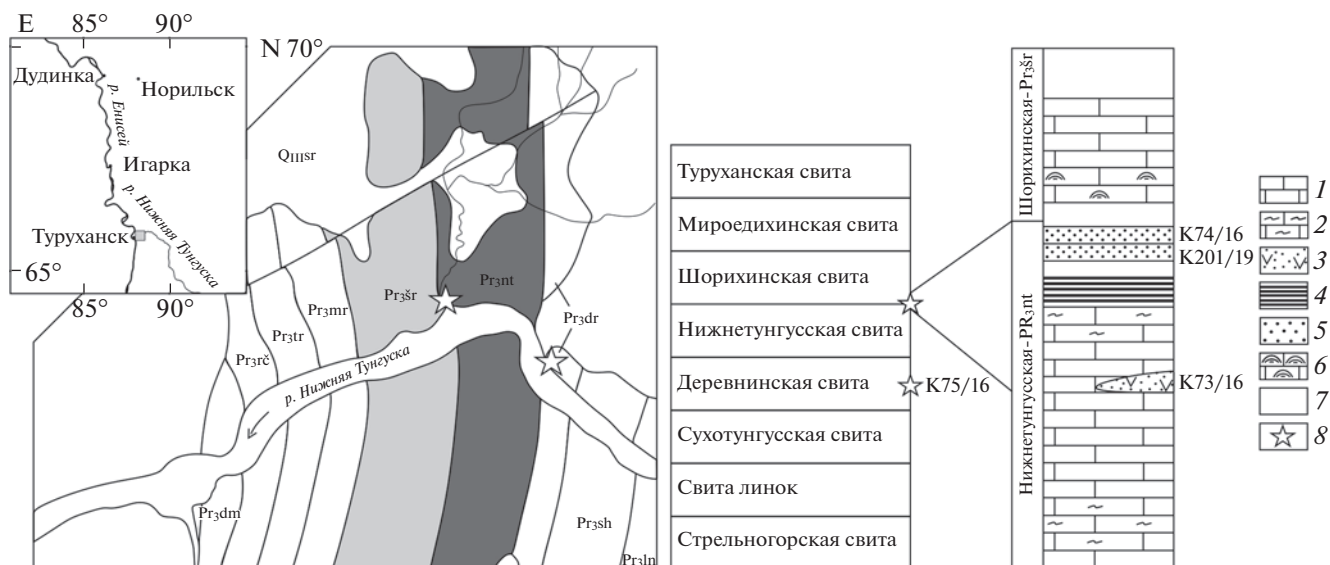


Рис. 1. Геологическая схема позднего докембрия Туруханского поднятия и фрагмент литологической колонки верхней части нижнетунгусской свиты и нижней части шорихинской свиты. 1 – известняк, 2 – глинистый известняк, 3 – трахит, 4 – бедные бокситовые руды, 5 – шамозиты, 6 – строматолитовые известняки, 7 – перерыв в наблюдениях, 8 – место отбора проб на U–Pb-датирование циркона. Свиты Туруханского поднятия: Pr₃ln – линок, Pr₃sh – сухотунгусская, Pr₃dr – деревнинская, Pr₃nt – нижнетунгусская, Pr₃sr – шорихинская, Pr₃mr – мироедихинская, Pr₃tr – туруханская, Pr₃dm – дурномысская; Q_{IIIsg} – четвертичные отложения.

платформы на границе мезо- и неопротерозоя ранее установлено не было.

Авторами данной статьи при полевых исследованиях в верхней части разреза карбонатных пород нижнетунгусской (буровой) свиты Туруханского поднятия установлено присутствие вулканических пород, бедных бокситовых и шамозитовых руд (рис. 1). Ранее бокситы принимались за аргиллиты, шамозиты – за глауконитовые песчаники [6]. Вулканиды в разрезе свиты выделены впервые.

Целью наших исследований стало решение обратной задачи Sr-хемотратиграфии – получение данных об изотопном составе Sr воды палеоокеана на основе изучения карбонатных пород, имеющих геохронологическое обоснование возраста по данным U–Pb-датирования циркона из синхронных с карбонатами вулканитов. Это позволило получить первые в мировой практике Sr-изотопные данные для карбонатных пород, возраст которых подтвержден геохронологическими исследованиями синхронных с их накоплением вулканитов на рубеже 960 млн лет.

СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА НИЖНЕТУНГУССКОЙ СВИТЫ

В береговом обнажении правого борта р. Нижняя Тунгуска в районе Воронихина мыса в едином разрезе изучена верхняя 200-метровая последовательность отложений нижнетунгусской свиты и 10-метровая базальная часть вышележащей шорихинской свиты.

Карбонатные породы в верхней части нижнетунгусской и базальной части шорихинской свит представлены известняками (Mg/Ca от 0.003 до 0.039), доля алюмосиликокластики в которых варьирует от 1 до 30%. Наиболее обогащены ею карбонатные породы верхней части свиты, контактирующей с бокситами. Известняки тонкослоистые, тонкоплитчатые, реже массивные битуминозные. Ближе к кровле появляются тонкие прослои серо-зеленых глинистых известняков. Примерно в 60 м от кровли во врезе р. Нижняя Тунгуска (65°50′08.3″ с.ш., 88°12′30″ в.д.) среди известняков обнаружена линза темно-серых грубозернистых пород (10 м в длину и 0.2–0.7 м в ширину). При петрографических исследованиях, в том числе с помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA3 TESCAN (СЭМ) в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (ЦПК МИИ СО РАН) установлено, что они представляют собой измененную вулканическую породу. Вкрапленники представлены плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и кварцем. Основная масса имеет флюидальную текстуру и замещена железистым хлоритом. Среди акцессорных минералов преобладают циркон, рутил с высокими концентрациями V, монацит, флоренсит, фторапатит. Эта порода характеризуется повышенными содержаниями щелочей, MgO, TiO₂, Zr, Hf, Th и редкоземельных элементов (РЗЭ) (табл. 1). Несмотря на низкие содержания кремнезема, состав вкрапленников и флюидальная текстура основной массы, а также геохимические

характеристики позволяют отнести эту породу к вулканитам, а именно к кварцевым трахитам.

Выше по разрезу в бурых аргиллитах повсеместно прослеживаются овальные обособления буро-желтого цвета размером до 30 см по оси и до 15 см в поперечном сечении. Внешне их можно принять за конкреции, но они и вмещающие их аргиллиты имеют одинаковый состав и все вместе представляют собой бедные некондиционные бокситы (Al_2O_3 более 28%) с высокими концентрациями TiO_2 , Cr, Zn, Zr, Hf, W, Th и PЗЭ (табл. 1).

Венчает разрез нижнетунгусской свиты горизонт черных мелкозернистых шамозитовых песчаников мощностью до 15 м. Для этих пород характерно высокое содержание железа (табл. 1). При петрографических исследованиях, в том числе с помощью СЭМ, определено, что основная масса представлена зелеными округлыми стяжениями шамозита, сидеритом, остроугольными неокатанными зернами кварца, реже встречается железистый хлорит. Среди акцессорных минералов в большом количестве присутствуют циркон, представленный неокатанными мелкими до крупных зернами, хромшпинелиды с сохранившимся кристаллографическим обликом кристаллов, рутил с повышенными концентрациями V, флоренсит. Глауконит в терригенных породах верхней части нижнетунгусской свиты отсутствует.

Геохимические характеристики трахитов, шамозитов и бокситов нижнетунгусской свиты имеют однотипный характер (рис. 2). Это позволяет считать, что рассматриваемые осадочные породы являются переотложенными продуктами площадной коры выветривания, в том числе и по изученным кварцевым трахитам. Представительность бокситов и шамозитовых отложений в разрезе предполагает широкое проявление трахитового вулканизма в пределах палеосборной площади осадочного бассейна, где происходило накопление пород нижнетунгусской свиты.

Таким образом, изучение силикатных и алюмосиликатных пород верхней части карбонатной последовательности нижнетунгусской свиты позволило выявить эпизод вулканизма, синхронного с накоплением отложений, и широкое проявление процессов химического выветривания на расположенной недалеко суши вплоть до образования бокситов и шамозитовых отложений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

U–Pb-ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНА

Для решения вопроса о времени проявления этих событий проведено U–Pb-датирование циркона из трахитов методом LA–ICP MS (ГИН СО РАН, Улан-Удэ). В результате установлено, что в вулканитах нижнетунгусской свиты присутствуют зерна циркона только одного временного ин-

тервала, конкордантные значения которых варьируют в диапазоне возрастов от 1.05 до 0.96 млрд лет. Конкордантный возраст зерен циркона наиболее молодой популяции – 963 ± 6 млн лет и принимается нами за возраст вулканического события (рис. 3).

При этом на основе U–Pb-датирования зерен циркона методом ICP–MS в ЦПК МИИ СО РАН для нижележащих кварцевых песчаников деревнинской свиты и венчающих разрез нижнетунгусской свиты шамозитовых песчаников получены палеопротерозойский, нео- и мезоархейский возрасты пород источников сноса (рис. 4). Следует отметить, что в песчаниках деревнинской свиты основным источником сноса являлись неархейские породы (2.5 млрд лет) без вклада палеопротерозойских источников поступления обломочного материала, являющихся доминантами среди поставщиков обломочного материала в докембрийские осадочные бассейны Сибирской платформы ([6] и др.). Таким образом, после вулканических событий 960 млн лет назад в Туруханский бассейн седиментации происходит смена источников сноса и основными среди них становятся породы мезоархейского (2.87 млрд лет) и палеопротерозойского (1.86 млрд лет) возраста. Присутствуют единичные зерна циркона с возрастом на рубеже 1 млрд лет, которые являются отголосками установленного нами вулканического события.

Приведенные данные позволяют считать, что накопление карбонатных отложений верхней части нижнетунгусской свиты происходило на рубеже 960 млн лет назад. Таким образом, изученные нами породы этой свиты в настоящее время представляют единственный в Море корректно геохронологически обоснованный разрез раннего неопротерозоя, где установлено время накопления карбонатных отложений. Это дает шанс получить надежную информацию об изотопном составе Sr морской воды палеоокеана в самом начале неопротерозоя.

Sr-ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Для получения данных об изотопном составе Sr в воде палеоокеана 970–960 млн лет назад нами из 200-метровой верхней части нижнетунгусской свиты и 10-метровой базальной части шорихинской свиты по р. Нижняя Тунгуска через 1 м были отобраны пробы карбонатных пород. В результате петрографического и геохимического изучения установлено, что нижние 60 м этой карбонатной последовательности представлены доломитами, которые менее предпочтительны для целей Sr-хемостратиграфии, чем известняки, которыми сложена вышележащая часть разреза (табл. 2). Самая верхняя, 40-метровая часть разреза нижне-

Таблица 1. Химический состав вулканитов, бокситов, шамозитовых песчаников нижнетунгусской свиты и песчаников деревнинской свиты

	Вулканиты		Бокситы				Шамозитовые песчаники		п.дер
	K73/16	K196/19	K76/16	K322/19	K327/19	K328/19	K74/19	K198/19	K75/16
SiO ₂	44.3	47.4	41.64	45.49	45.43	45.10	38.24	40.74	96.13
TiO ₂	1.3	0.8	1.76	1.78	1.71	1.71	5.37	2.60	0.07
Al ₂ O ₃	18.9	20.4	28.98	28.98	28.14	28.52	6.39	7.67	0.95
Fe ₂ O ₃	13.9	11.8	11.9	9.48	10.36	10.26	32.09	34.78	1.95
MnO	0.1	0.1	0.07	0.09	0.13	0.12	0.46	0.32	0.8
MgO	5.2	4.1	0.65	0.67	0.77	0.97	1.87	2.13	<0.01
CaO	2.9	2.8	0.29	0.52	0.43	0.54	0.18	0.39	0.09
Na ₂ O	2.9	3.2	0.35	0.43	0.55	0.66	0.03	0.12	<0.10
K ₂ O	1.4	2.0	1.33	1.48	1.53	1.67	0.04	0.07	0.01
P ₂ O ₅	0.1	0.1	0.08	0.17	0.07	0.13	0.06	0.13	0.19
Rb	40.0	55.0	69.4	65.0	66.0	78.0		2.1	
Sr	84.1	98.0	97.0	99.0	97.0	123.0		63.0	
Y	45.2	31.0	49.2	46.0	47.0	55.0		53.0	
Zr	544.0	392.0	296.3	338.0	333.0	329.0		165.1	
Nb	34.4	17.2	28.3	29.0	28.0	29.0		34.0	
Cs	1.0	1.0	7.08	4.9	4.1	5.6		0.21	
Ba	266.1	290.0	248.9	332.0	332.0	379.0		61.0	
La	86.9	58.0	68.7	73.0	75.0	75.0		44.0	
Ce	198.5	120.0	140.6	136.0	140.0	140.0		93.0	
Pr	22.9	15.2	15.9	16.2	16.5	17.7		10.6	
Nd	90.1	62.0	56.6	59.0	61.0	61.0		42.0	
Sm	18.7	12.5	11.1	10.1	10.8	12.0		9.0	
Eu	1.3	1.0	2.0	2.0	1.7	2.3		1.8	
Gd	14.9	10.7	9.2	8.8	8.7	10.4		9.3	
Tb	2.0	1.4	1.5	1.4	1.4	1.6		1.6	
Dy	10.2	6.7	8.7	7.8	8.3	9.4		9.8	
Ho	1.8	1.2	1.9	1.6	1.7	1.9		2.1	
Er	4.3	3.0	5.4	4.5	5.0	5.7		6.0	
Tm	0.5	0.4	0.8	0.7	0.8	0.9		1.0	
Yb	2.8	2.2	5.4	4.6	5.2	5.9		6.5	
Lu	0.4	0.3	0.8	0.7	0.8	0.9		1.0	
Hf	13.9	10.4	8.2	10.3	10.0	9.2		44.0	
Ta	2.1	1.2	2.0	2.1	1.9	1.7		2.2	
Th	40.4	29.0	22.0	24.0	24.0	25.0		24.0	
U	1.7	1.1	3.5	3.3	3.3	3.0		3.3	

п.дер. — песчаник деревнинской свиты. Петрогенные оксиды приведены в мас. %, редкие и редкоземельные элементы в г/т.

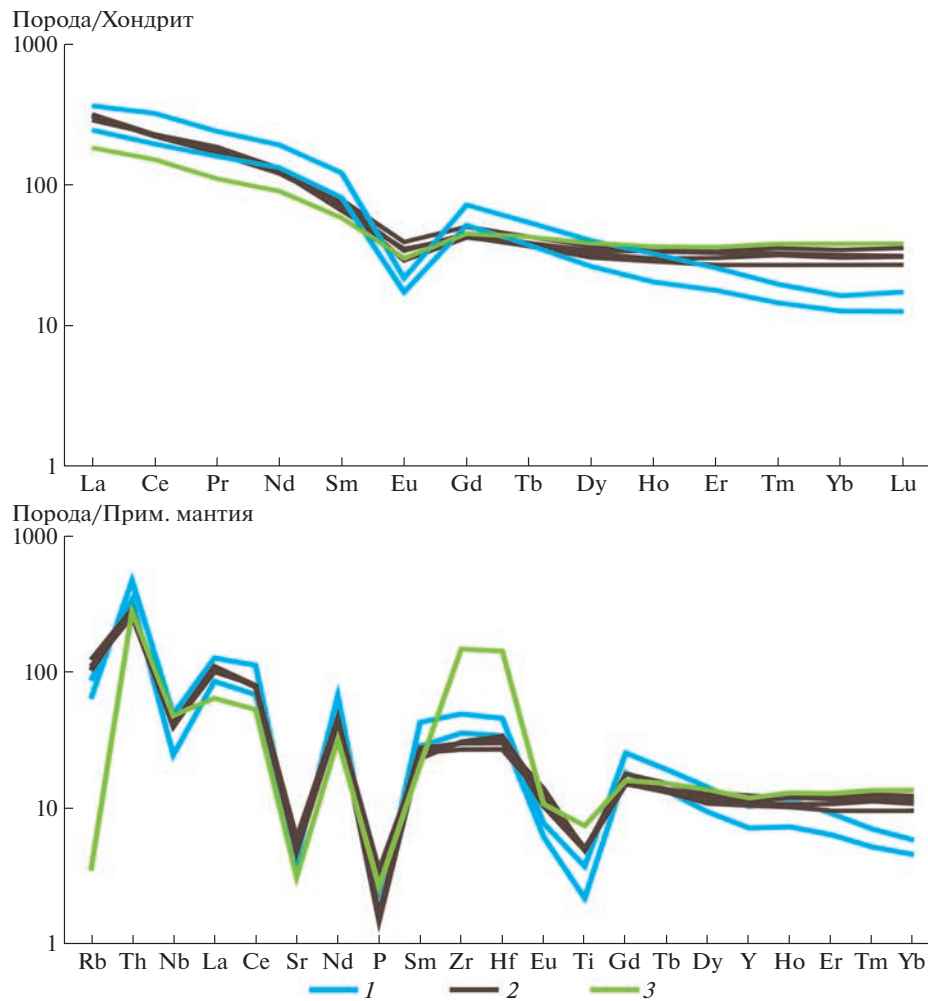


Рис. 2. Распределение содержаний редких и редкоземельных элементов в трахитах (1), бокситах (2) и шамозитах (3) нижнетунгусской свиты. Нормирование элементов относительно примитивной мантии и хондрита по [9].

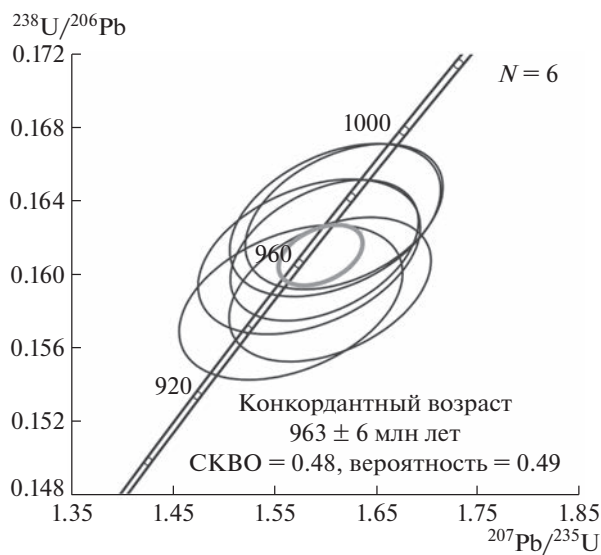


Рис. 3. Диаграмма с конкордией для наиболее молодой популяции циркона из трахита нижнетунгусской свиты.

тунгусской свиты на контакте с бокситами, сложена глинистыми известняками. Доломиты и глинистые известняки были исключены из исследований и данные о изотопном составе Sr получены для 100-метрового разреза известняков, включающего изученные трахиты, нижнетунгусской свиты (95 проб) и 8-метрового разреза нижней части шорихинской свиты (8 проб). Из них на основе петрографических и геохимических исследований отобрано 13 проб известняков с микритовой структурой, отсутствием вторичных прожилков, ожелезнения и минимальными значениями реперных отношений элементов, позволяющих предполагать наименьшие постседиментационные изменения в изучаемых породах (табл. 2).

Химическое разложение проб и определение содержания элементов в карбонатной вытяжке атомно-абсорбционным методом выполнены в ЦКП МИИ СО РАН. Изотопное отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ измерено на масс-спектрометре Triton Plus “Thermo Fisher” (Екатеринбург, ИГГ УрО

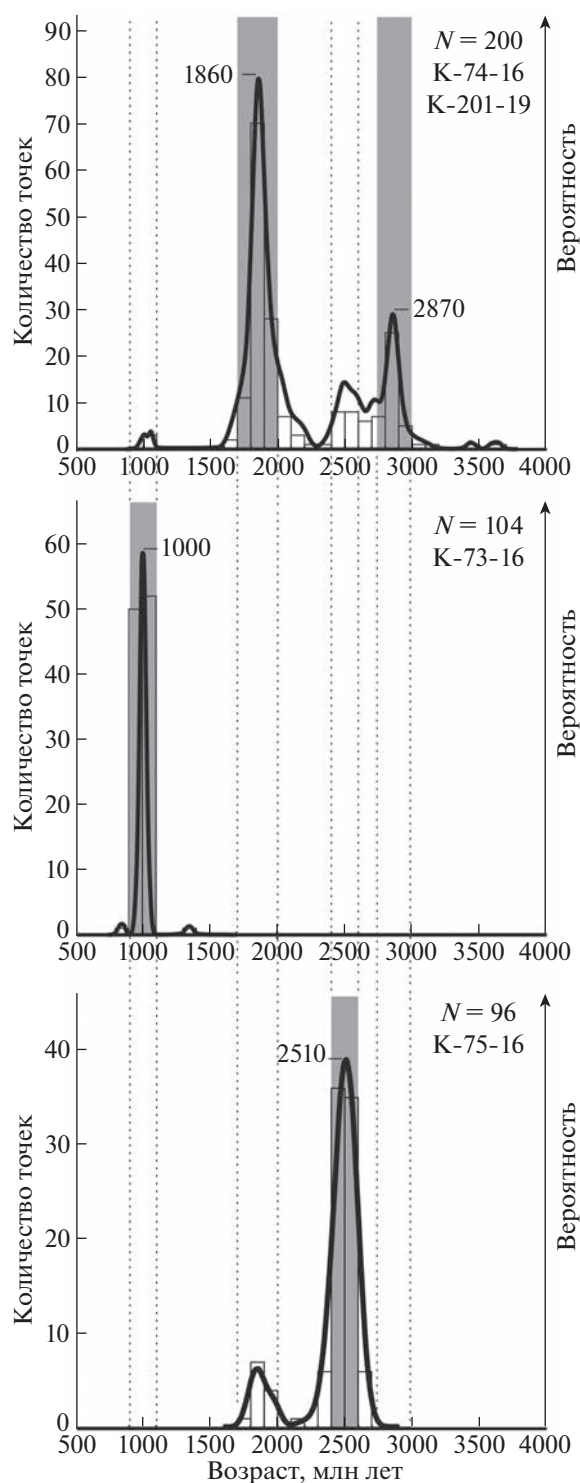


Рис. 4. Распределение возраста зерен циркона на гистограммах и кривых относительной вероятности для песчаников деревнинской свиты (обр. K75/16), трахита (обр. K73/16) и шамозитовых песчаников (обр. K74/16, K201/19) нижнетунгусской свиты.

РАН) с использованием изотопного стандарта SRM987. В результате установлено, что значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатных породах верхней части нижнетунгусской свиты изменяются в интервале

0.70532–0.70573 и отвечают изотопному составу воды в палеоокеане 970–960 млн лет назад. Отмечены вариации этого отношения в разрезе нижнетунгусской свиты. Наблюдаются увеличение

Таблица 2. Химический и изотопный состав карбонатных вытяжек изученных карбонатных пород нижнетунгусской (обр. K100/19 – K187/19) и шоринской (обр. K202/19 – K210/19) свит

Номер образца	Доля СП, %*	Содержание, г/т						Fe/Sr	Mn/Sr	Mg/Ca	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr измеренное	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr первичное**
		Mn	Fe	Sr	Rb	Mg	Ca						
K100/19	22.33	4040	7530	254	—	2150	393000	29.653	15.909	0.005	—	—	—
K101/19	14.28	3640	4670	222	—	2100	424000	21.030	16.392	0.005	—	—	—
K109/19	26.15	4590	16000	257	—	5030	464000	62.209	17.846	0.011	—	—	—
K112/19	21.55	6210	12900	266	—	4260	399000	48.441	23.319	0.011	—	—	—
K116/19	22.56	7770	12100	279	—	4320	393000	43.309	27.811	0.011	—	—	—
K118/19	27.71	6660	8680	330	—	3560	383000	26.297	20.178	0.009	—	—	—
K123/19	28.60	4960	16400	355	—	3870	394000	46.230	13.982	0.010	—	—	—
K125/19	26.48	5110	10700	344	—	3900	416000	31.088	14.847	0.009	—	—	—
K129/19	27.43	3080	11400	321	—	3790	383000	35.541	9.602	0.010	—	—	—
K130/19	27.94	3340	9600	335	—	4070	378000	28.669	9.974	0.011	—	—	—
K133/19	30.72	2970	14000	334	—	4530	390000	41.878	8.884	0.012	—	—	—
K134/19	29.46	6390	6020	252	—	3750	400000	23.911	25.380	0.009	—	—	—
K138/19	17.01	2440	7760	212	—	3300	375000	36.675	11.532	0.009	—	—	—
K140/19	12.80	1350	3760	199	—	2630	393000	18.941	6.801	0.007	—	—	—
K143/19	8.42	708	4100	252	0.36	3150	383000	16.244	2.805	0.008	0.00357	0.70578	0.70573
K144/19	12.58	729	9030	272	—	4810	395000	33.249	2.686	0.012	—	—	—
K146/19	11.79	698	4590	236	—	3010	397000	19.456	2.960	0.008	—	—	—
K147/19	10.07	591	5330	236	—	3370	410000	22.602	2.506	0.008	—	—	—
K148/19	7.21	523	4660	332	—	3760	393000	14.056	1.576	0.010	—	—	—
K149/19	7.82	554	4630	387	0.41	3990	384000	11.977	1.433	0.010	0.00281	0.70564	0.70556
K151/19	8.71	669	5370	321	—	3500	410000	16.715	2.083	0.009	—	—	—
K154/19	11.67	607	3770	345	0.51	4060	396000	10.929	1.760	0.010	0.00389	0.70578	0.70573
K155/19	11.79	750	3900	341	—	4200	406000	11.445	2.200	0.010	—	—	—

Таблица 2. Окончание

Номер образца	Доля СП, %*	Содержание, г/т						Fe/Sr	Mn/Sr	Mg/Ca	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ измеренное	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ первичное**
		Mn	Fe	Sr	Rb	Mg	Ca						
K 156/19	8.90	667	4270	276	—	4130	396000	15.475	2.417	0.010	—	—	—
K 157/19	7.22	567	4000	264	—	4720	387000	15.167	2.149	0.012	—	—	—
K 159/19	11.54	478	4940	255	—	3810	386000	19.347	1.873	0.010	—	—	—
K 161/19	5.40	660	2040	192	0.29	2620	407000	10.653	3.448	0.006	0.00387	0.70578	0.70572
K 162/19	7.83	876	2700	228	—	5720	408000	11.824	3.837	0.014	—	—	—
K 163/19	6.08	900	3050	245	—	9900	389000	12.471	3.680	0.025	—	—	—
K 167/19	7.29	466	3810	262	—	22400	377000	14.555	1.779	0.059	—	—	—
K 168/19	4.35	329	2660	298	—	16000	407000	8.937	1.105	0.039	—	—	—
K 174/19	7.96	648	2830	519	—	10000	409000	5.451	1.249	0.024	—	—	—
K 175/19	6.02	173	1720	774	0.30	11500	364000	2.223	0.223	0.032	0.00118	0.70546	0.70544
K 176/19	2.38	143	987	936	0.16	8730	376000	1.054	0.153	0.023	0.00054	0.70544	0.70543
K 177/19	5.44	90.8	1490	626	0.27	6070	374000	2.381	0.145	0.016	0.00133	0.70542	0.70541
K 179/19	2.42	65.8	700	1230	0.13	5150	391000	0.569	0.053	0.013	0.00032	0.70539	0.70538
K 180/19	1.57	40.8	1230	925	0.14	4000	419000	1.330	0.044	0.010	0.00044	0.70532	0.70532
K 182/19	1.58	57.8	496	952	0.12	4580	403000	0.521	0.061	0.011	0.00036	0.70534	0.70533
K 187/19	5.26	295	1290	679	0.55	7590	393000	1.901	0.435	0.019	0.00253	0.70539	0.70536
K 202/19	85.23	108	245000	328	—	19000	55400	746.734	0.328	0.343	—	—	—
K 203/19	2.40	276	1130	132	0.17	7390	384000	8.592	2.098	0.019	0.00381	0.70587	0.70582
K 205/19	2.20	309	962	136	—	7890	419000	7.089	2.273	0.019	—	—	—
K 208/19	1.27	288	1160	130	—	12400	385000	8.955	2.226	0.032	—	—	—
K 209/19	1.92	370	1150	123	—	12300	382000	9.322	2.997	0.032	—	—	—
K 210/19	0.85	255	487	127	0.09	4030	400000	3.825	2.003	0.010	0.00201	0.70584	0.70581

* — доля некарбонатной составляющей. ** — первичный изотопный состав Sr рассчитан на возраст 960 млн лет. Прочерк — измерения не проводились.

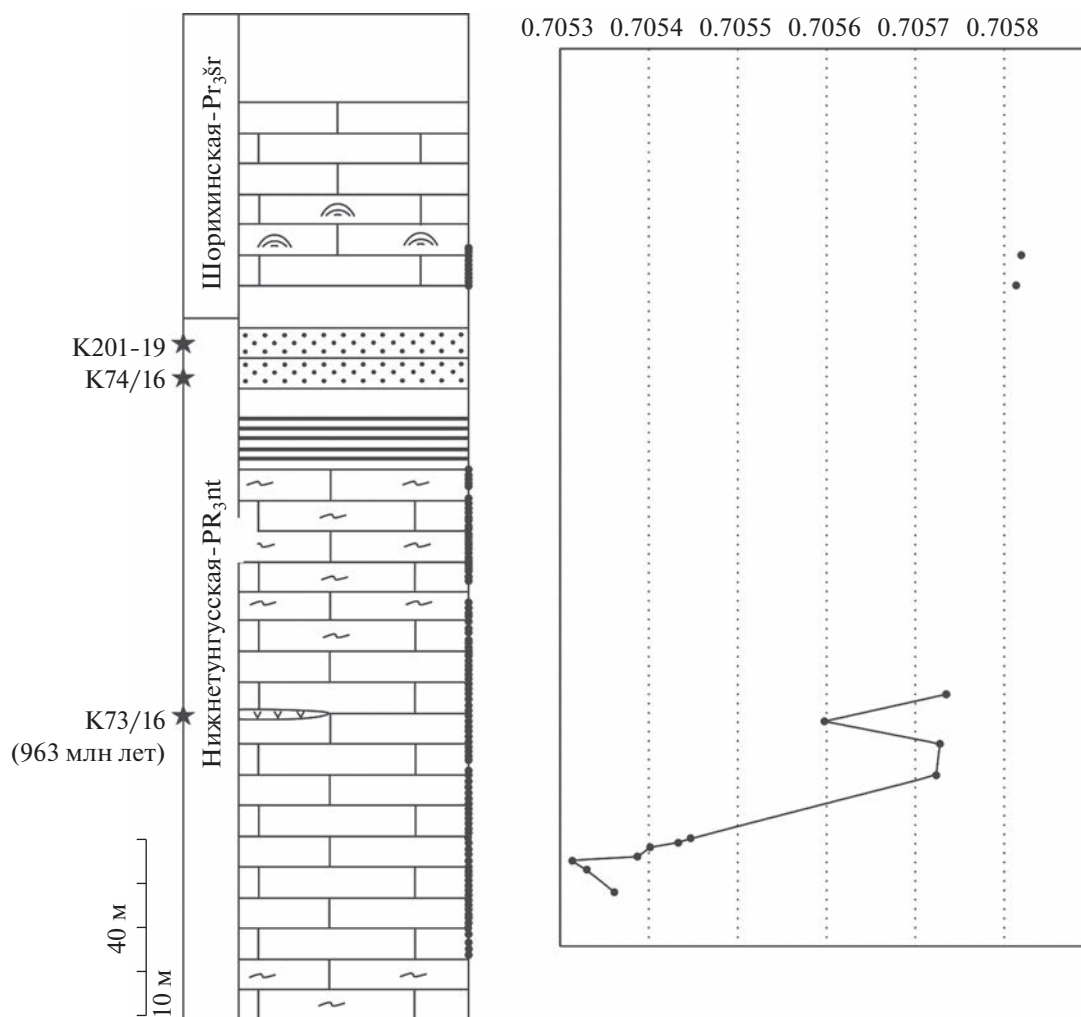


Рис. 5. Вариации изотопного отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатных породах верхней части нижнетунгусской свиты. Условные обозначения см рис. 1. Черными точками в правой части литологической колонки показано местоположение отбора проб для проведения геохимических и изотопных исследований карбонатных пород.

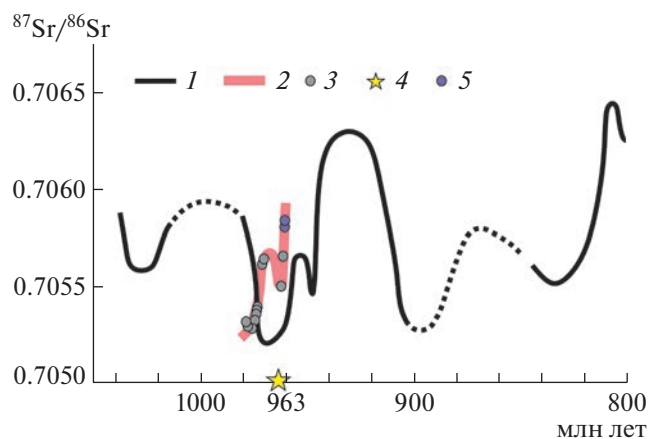


Рис. 6. Сопоставление данных Sr-хемостратиграфии для раннепротерозойских карбонатных пород. 1 – кривая вариаций изотопного состава Sr в воде раннепротерозойского океана [2, 3], 2 – фрагмент уточненной кривой вариаций состава Sr в воде ран-непротерозойского океана на основе данных, полученных в данной работе, 3 – значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатных породах верхней части нижнетунгусской свиты, 4 – возраст вулканитов, синхронных с накоплением карбонатных отложений нижнетунгусской свиты, 5 – значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в карбонатных отложениях основания шорихинской свиты.

вверх по разрезу значений этого отношения с 0.70532 до 0.70573 и его снижение в горизонте, контактирующем с трахитами до 0.70559 и вновь подъема значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ до 0.70573 в вышележащих известняках этой свиты (рис. 5). В базальных известняках шорихинской свиты отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ увеличивается до 0.70581–0.70582 (табл. 2, рис. 5).

Полученные изотопные характеристики совпадают с таковыми для карбонатных пород формации Huainan Северо-Китайской платформы [3], возраст которых определен на основе данных U–Pb-датирования зерен детритового циркона из подстилающих и перекрывающих песчаников. Наши исследования вносят коррективы в полученные ранее китайскими коллегами данные в виде смещения кривой вариаций изотопного состава Sr на 10 млн лет древнее. Таким образом, в настоящее время для двух удаленных разрезов Мира получены сопоставимые данные об изотопном отношении $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в воде палеоокеана в самом начале раннего неопротерозоя (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное изучение верхней части нижнетунгусской свиты Туруханского поднятия северо-запада Сибирской платформы позволило не только выявить и датировать эпизод щелочного вулканизма, синхронного с накоплением карбонатных отложений этой свиты, но и установить широкое проявление процессов химического выветривания (вплоть до образования бедных бокситовых и шамозитовых руд) на палеоводосборах этого осадочного бассейна на рубеже 960 млн лет назад. Отмечено изменение в составе источников сноса: неоархейские для песчаников подстилающей деревнинской свиты и мезоархейские, палеопротерозойские для шамозитовых песчаников на границе с вышележащей шорихинской свитой.

Геохронологическое обоснование времени накопления пород верхней части нижнетунгусской свиты дало возможность впервые определить изотопный состав Sr воды палеоокеана 960 млн лет назад. Для наименее измененных известняков верхней части нижнетунгусской свиты получены значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.70532–0.70573, близкие к тем, что установлены в карбонатных породах формации Huainan Северо-Китайской платформы, временной интервал формирования которых ограничен только данными об U–Pb-изотопном возрасте обломочного циркона. Изученный разрез нижнетунгусской свиты выгодно отличается от формации Huainan тем, что является единственной (по субсинхронным вулканитам) карбонатной последовательностью раннего неопротерозоя Мира.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 19-17-00099 – экспедиционные, петрографические, минералогические исследования, геохронология вулканитов, Sr-хемотратиграфия; грант 21-17-00052 – петрографическое и минералогическое исследование терригенных пород, U–Pb-датирование цирконов деревнинской и нижнетунгусской свиты).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
2. Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., Alvarenga S.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst R., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoffman P.H., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.S., Poiré D.J., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao S., Zhang S., Zhou Y., Zhu M.A. template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian timescale // Journal of the Geological Society. 2021. V. 179. № 1.
3. Zhou Y. Reconstructing the strontium isotopic composition of Neoproterozoic seawater // A dissertation submitted to University College London in accordance with the requirements for award of the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Mathematical and Physical Sciences Department of Earth Sciences. 2017. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10039126/1/Shields-Zhou_10039126_thesis.
4. Семихатов М.А., Серебряков С.Н. Сибирский гипостратотип рифея. М.: Наука, 1983. 213 с.
5. Petrov P.Y., Semikhatov M.A. Sequence organization and growth patterns of late Mesoproterozoic stromatolite reefs: an example from the Burovaya Formation, Turukhansk Uplift, Siberia // Precambrian Research. 2001. V. 111. P. 257–281.
6. Priyatkina N., Khudoley A.K., Collins W.J., Kuznetsov N.B., Huang H.-O. Detrital zircon record of Meso- and Neoproterozoic sedimentary basins in northern part of the Siberian Craton: Characterizing buried crust of the basement // Precambrian Research. 2016. V. 285. P. 21–38.
7. Овчинникова Г.В., Семихатов М.А., Горохов И.М., Беляцкий Б.В., Васильева И.М., Левский Л.К. U–Pb систематика докембрийских карбонатов: рифейская сухотунгусинская свита Туруханского поднятия Сибири // Литология и полезные ископаемые. 1995. № 5. С. 525–536.
8. McDonough W.F., Sun S.-S. The Composition of Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.

Sr-ISOTOPIC COMPOSITION OF PALEOOCEAN WATER ON THE BORDER OF 960 Ma (DATA FOR NIZHNY TUNGUSKA FORMATION OF TURUKHAN UPLIFT OF SIBERIAN PLATFORM)

E. F. Letnikova^{a,b,#}, A. A. Zhdanov^a, A. V. Ivanov^a, Corresponding Member of the RAS A. V. Maslov^{a,c}, A. E. Izokh^a, A. F. Letnikova^d, and N. G. Soloshenko^e

^a*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

^b*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation*

^c*Geological institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^d*Irkutsk state university, Irkutsk, Russian Federation*

^e*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: efletnik@igm.nsc.ru*

At the boundary of the Meso- and Neoproterozoic, Grenville collision events were widely manifested on the margins of ancient continental blocks. Most of the sedimentary sequences that had accumulated by that time had undergone significant thermal–metamorphic changes. In many ways, this is the main reason for the lack of isotopic data for carbonate deposits in the interval of 1200–900 Ma in world practice. Sr–isotopic composition in carbonate rocks with an age of 980–920 Ma was determined in the only section of the World – the Huainan Formation of the North China Platform with accumulation time determined by U–Pb dating of detrital zircon grains. In the upper part of the Nizhny Tunguska suite of the Turukhansk uplift, among carbonate deposits, we established the presence of altered volcanic rocks, as well as weathering crust products along them – poor bauxite and chamosite ores. Based on U–Pb zircon isotope dating, the age of the volcanic rocks is 964 Ma. For the least altered limestones of the upper part of the Nizhny Tunguska Formation, received $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values are 0.70532–0.70578, which are close enough to those found in the rocks of the Huainan Formation. Geochronological age of the studied limestones gives us more correct data. These data can be used to refine the previously proposed configuration of the Sr–isotopic composition variation curve in the Early Neoproterozoic. The Nizhny Tunguska Formation is the only carbonate section of the Early Neoproterozoic in the world with correctly geochronologically substantiated dating (based on zircon from subsynchronous volcanic rocks). This compares favorably with the Huainan formation.

Keywords: Siberian Platform, volcanic rocks, early neoproterozoic, chemostratigraphy, detrital zircons