

УДК 550.93:551.2:552.11

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ В ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ АНГАРО-КАНСКОГО БЛОКА ЮГО-ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2020 г. Н. В. Попов¹, И. И. Лиханов^{2,*}, академик РАН В. В. Ревердатто², К. А. Савко³

Поступило 10.10.2019 г.

После доработки 14.10.2019 г.

Принято к публикации 14.10.2019 г.

Крупные массы древнейших гранитоидов Южно-Енисейского кряжа подразделяются на три комплекса, различающихся геологическими, геохимическими и геохронологическими характеристиками. Таракский массив состоит из двух разновозрастных комплексов: порфиоровидных гранитоидов S–A-типа (коллизионных) таракского комплекса (1.84 млрд лет) и субщелочных гранитов A-типа (анорогенных) телькунского комплекса (1.76 млрд лет). Возраст магматической кристаллизации гнейсогранитов посольненского комплекса взаимосвязан с поздним этапом метаморфизма и попадает в интервал между двумя вышеупомянутыми комплексами (1789.8 ± 8.9 млн лет). Метаморфические преобразования вмещающих толщ фиксируются мелкими телами чарнокитоидов с оценками возраста 1.84 и 1.73 млрд лет.

Ключевые слова: гранитоидный магматизм, метаморфизм, тектоника, Енисейский кряж

DOI: 10.31857/S2686739720020127

Южно-Енисейский кряж (Ангаро-Канский блок) представляет собой юго-западный выступ фундамента Сибирской платформы. Он расположен в центральной части Ангарского складчатого пояса протерозойского возраста [1] и включает в себя большинство образований пояса [2, 3]. Тесная ассоциация разнообразных породных комплексов свидетельствует о весьма сложном строении. Поэтому реконструкция его геологической истории важна не только для понимания эволюции региона, но и для решения широко дискутируемого вопроса о вхождении Сибирского кратона в состав древних суперконтинентов [4]. Актуальность выполненных исследований определяется дефицитом возрастных датировок для геологических комплексов Ангаро-Канского блока, которые могли свидетельствовать о ранних этапах его развития. Это существенно ограничивает возможности временных корреляций его эволюции

как в разных сегментах Ангарского пояса, так и с глобальными геологическими процессами в истории Земли.

В строении Ангаро-Канского блока ранее были выделены два метаморфических комплекса: канский (гранулитовый) и енисейский (амфиболитовый) [5]. В современном понимании гранулитовые толщи кряжа (канская серия) состоят из двух комплексов: кузеевского (гранулит-метабазит-гнейсовый) и атамановского (гранулит-гнейсовый), породы амфиболитовой фации метаморфизма объединены в енисейский (амфиболит-гнейсовый) комплекс [6].

Недавно были получены следующие оценки возраста мафических гранулитов канского метаморфического комплекса: 1890 ± 6 – 1935 ± 14 млн лет для магматической стадии и 1848 ± 7.6 и 1776 ± 8 (1778 ± 22) млн лет для двух этапов метаморфизма (табл. 1) [7–9]. В состав канского комплекса входят гиперстеновые плагиограниты, которые образовались в более широком временном интервале от 1890 до 1855 млн лет с последующим метаморфизмом на рубеже 1780 млн лет (табл. 1). В енисейском метаморфическом комплексе диагностируются две толщи с возрастом около 1.88 и 1.74 млрд лет, метаморфизованные в неопротерозое 0.76 млрд лет (табл. 1) [10].

Гранитоиды Южно-Енисейского кряжа являются наиболее информативными, так как они фиксируют условия выплавления и время кри-

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

³ Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

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

Таблица 1. Изотопный возраст протерозойских комплексов Южно-Енисейского края

Комплекс, массив		Порода, геохимический тип	Минерал	Метод	Возраст, млн. лет	Источник	
Канский метаморфический	Мафические гранулиты		Циркон	SHRIMP-II	1890 ± 6 ¹	[7]	
					1935 ± 14 ¹		
					1848 ± 7.6 ²		
					1776 ± 8 ²		
					1778 ± 22 ²		
	Гиперстеновый плагиогранит (<i>метаандезит</i>), гиперстеновый плагиогранит (<i>метаандезит</i>), эндербит (богунит)	Циркон	U-Pb изохронный	1890 ± 10 ¹	[8]		
1840 ± 50							
1780 ± 10 ²							
1855 ¹							
Гиперстен-ортоклазовый гранит (кузеевит)	Циркон	U-Pb изохронный	1734 ± 4	[9]			
Енисейский метаморфический	Первая толща	Гранат-биотит-амфиболовый плагиогнейс, амфибол-биотитовый гнейс	Циркон	U-Pb изохронный	1872 ± 24	[8]	
					1890 ± 20		
	Вторая толща	Метаандезит	Циркон	SHRIMP-II	1756 ± 40	[10]	
					1739 ± 20 ¹		
Метадацит	Циркон	SHRIMP-II	1741 ± 30 ¹				
			765 ²				
Порода	Sm-Nd модельный	2457–2924					
		Субщелочной порфиридовидный гранит	Циркон	U-Pb изохронный	1837 ± 3	[11]	
Биотит микроклин	Ar-Ar				1132 ± 60		
	Ar-Ar				854 ± 20		
<i>S-A-min</i>	Порода	Sm-Nd модельный	2566				
Таракский (полихронный)	Субщелочной ториеносный гранит	Циркон	U-Pb	1761 ± 18	[12]		
				Монацит		изохронный	1746 ± 5
	<i>A-min</i>	Порода	Sm-Nd модельный	2500–2600			
Дайки гранитов в экзоконтактовой зоне массива	Биотит	Ar-Ar	695.3 ± 6.5	Собственные данные			
			532.9 ± 7.2				
			524.9 ± 5.9				
Посольненский (полихронный)	Амфибол-биотитовый порфиробластический гнейсогранит	Циркон	SHRIMP-II	1789.8 ± 8.9	Собственные данные		
				Амфибол		Ar-Ar	544.2 ± 7.6
	<i>S-min</i>	Биотит	Ar-Ar	544.5 ± 1.3			
	Габбро-амфиболит будина среди гнейсогранитов	Амфибол	Ar-Ar	608 ± 11			
				Субщелочной гранит <i>A-min</i>	Циркон	U-Pb изохронный	511 ± 9
Биотит							Ar-Ar
Порода	Sm-Nd модельный	1800					

Примечание. ¹ – возраст магматизма, ² – возраст метаморфизма.

сталлизации; их разнообразные геохимические характеристики позволяют реконструировать неоднородные геодинамические обстановки формирования. Ранее [5, 14] по геологическим данным, условиям метаморфизма и “общим соображениям” им присваивался возраст от архея до палеопротерозоя.

По последним данным, гранитоиды палеопротерозойского возраста образуют несколько комплексов. Самый крупный Таракский массив, слагающий восточную часть Южно-Енисейского кряжа на всем его протяжении [11, 12], состоит из двух комплексов – собственно таракского порфиридных гранитоидов S–A-типа (коллизионных) и субщелочных гранитов A-типа (анорогенных) с предлагаемым названием телькунского комплекса (рис. 1). Время образования гранитоидов этих комплексов различается почти на сотню млн лет – 1.84 и 1.76 млрд лет соответственно (табл. 1).

Чарнокитовый комплекс представлен мелкими не отражаемыми в масштабе карты дайкообразными телами и небольшими массивами ортоклазовых, (гиперстеновых ± гранат) гранитов, тесно ассоциирующихся с гранулитами кузеевской толщи. Для южной части кряжа – это “богуниты” [5], соответствующие по составу ряду от кварцевых норитов до гранодиоритов и редких лейкократовых гиперстеновых гранитов с возрастом 1.84 млрд лет (табл. 1). В средней части кряжа – это “кузеевиты” – порфиридные (реже аплитовидные) гиперстеновые лейкограниты [5] с возрастом около 1.73 млрд лет (табл. 1). Комплекс гнейсогранитов слагает два крупных массива (купола) – Посольненский и Пискуновский [5]. Характерной чертой этих гранитоидов является широкое развитие пегматитов с крупными порфиробластами микроклина. В нашем понимании это типичные реоморфические граниты. Предполагается, что главными причинами разрастания магматического очага являются снижение давления при его поднятии и разогревание за счет трения вязкого течения, что соответствует декомпрессионно-диссипативной модели магнообразования [15].

Ранее для жильных тел гранитов и сиенитов среди посольненских гнейсогранитов был определен кембрийский возраст [13] (табл. 1), который распространялся авторами на весь массив. Вместе с тем по оценке В.М. Даценко [14] именно аляскиты и сиениты слагают менее 5% площади массива; преобладают же биотитовые и биотит-амфиболовые порфиробластические гнейсограниты около 55%, и по 20% – субщелочные магнетитовые гнейсограниты и мигматизированные гнейсы с амфиболитами.

Посольненский массив расположен в северной части Южно-Енисейского кряжа, среди ме-

таморфических толщ енисейского комплекса (рис. 1). Площадь выхода массива на дневную поверхность составляет около 120 кв. км. Вмещающие породы представлены двуслюдяными гнейсами исаковской толщи с прослоями амфиболитов.

Для определения возраста посольненских гранитоидов было проведено изотопное исследование цирконов из пробы биотит-амфиболового гнейсогранита, отобранной из береговых коренных обнажений р. Посольная в 4.5 км выше устья. На установке SHRIMP-II (ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург) проанализированы крупные (до 0.5 мм) прозрачные, бесцветные призматические кристаллы. На катодолюминесцентных снимках кристаллов наблюдаются неоднородное строение ядер, осцилляторная зональность доминирующей средней зоны и незональные оболочки (рис. 2б). Оболочки всех кристаллов значительно отличаются от остальных частей большими содержаниями U и Th (табл. 2). Отношение Th/U составляет около единицы (табл. 2), но в некоторых точках может быть пониженным (в оболочке; 0.24 в точке 3.1) или повышенным (в ядре; 1.48 в точке 2.1). На U–Pb-диаграмме изотопных соотношений (рис. 2а) результаты анализов всех зон кристаллов цирконов попадают практически на конкордию со средней оценкой возраста 1789.8 ± 8.9 млн лет. Эти данные соответствуют возрасту магматической кристаллизации. Наиболее древнее значение одного из ядер (точка 5.2; табл. 2) близко к возрасту таракского комплекса гранитоидов и “богунитов” 1.84 млрд лет (табл. 1).

Ar–Ar-датировки из этой же пробы гнейсогранита для биотита и амфибола попадают в одну точку 544 млн лет, что, вероятно, свидетельствует о вендском метаморфизме (время закрытия калий–аргоновой-системы), предшествующего кембрийскому (511 млн лет) гранитоидному магматизму жильных тел аляскитов и сиенитов (табл. 1).

Ar–Ar-датировки фиксируют неопротерозойское время закрытия калий–аргоновой-системы в биотитах, амфиболах и калишпатах (табл. 1), что, видимо, отмечает время остывания разных блоков кряжа и/или неодинаковую устойчивость минералов к повторным нагреваниям.

Таким образом, наиболее древние достоверные оценки возраста образования пород Южно-Енисейского кряжа 1.89–1.94 млрд лет, полученные для мафических гранулитов канского метаморфического комплекса, соответствуют возрасту магматизма, а датировки 1.85 и 1.78 млрд лет согласовываются с двумя этапами метаморфизма (табл. 1). С этапами метаморфизма совпадают формирование мелких тел чарнокитоидов “богунитов” (1.84 млрд лет) и “кузеевитов” (1.73 млрд лет) (табл. 1). Эти значения возраста совпадают с таковыми для раннего и позднего гранитоидных

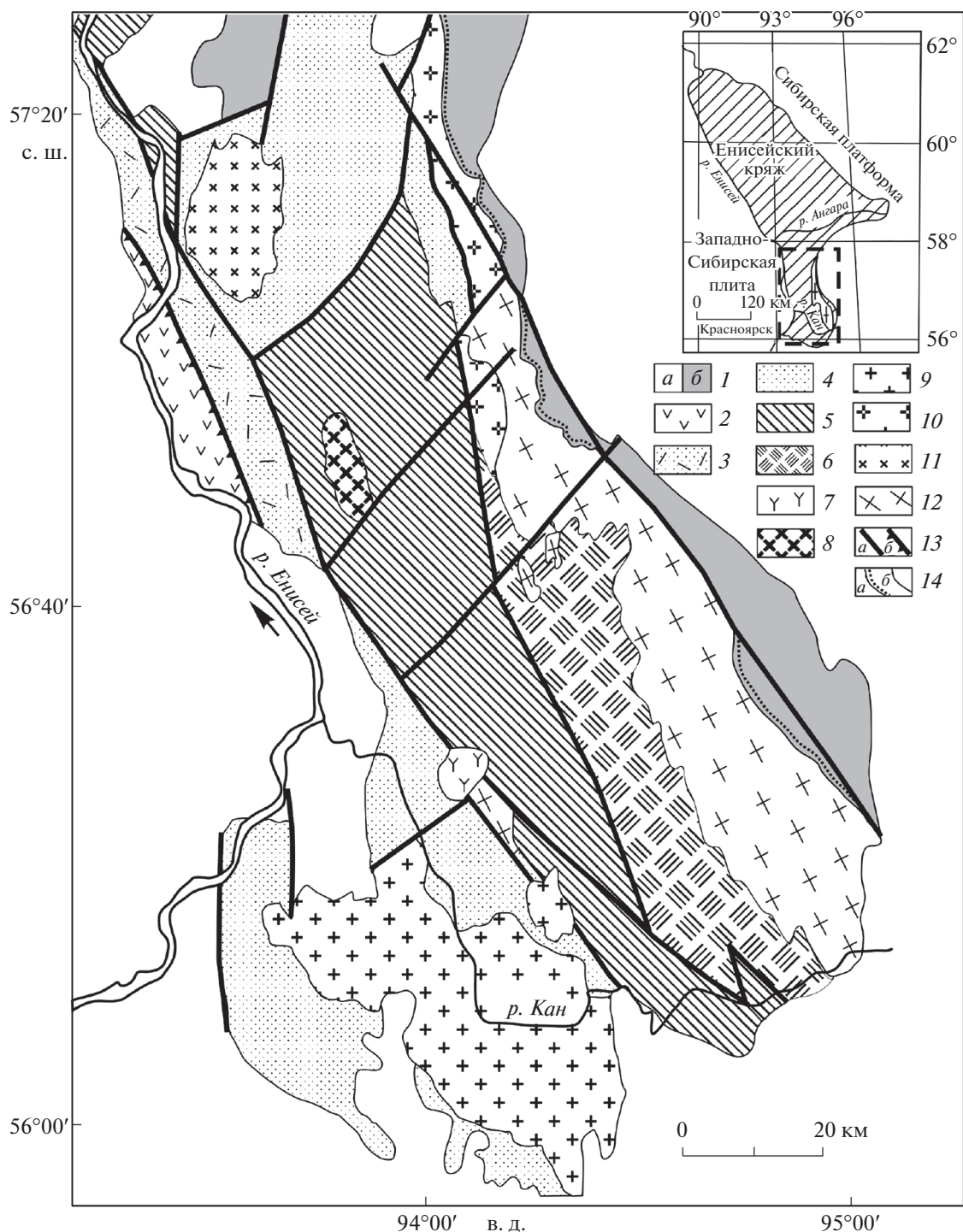


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ангаро-Канского блока (Енисейский кряж). 1 – перекрывающие фанерозойские (а) и неопротерозойские (б) отложения; 2 – офиолитовые и островодужные комплексы Предивинского террейна (NP₃); 3–6 – метаморфические комплексы Ангаро-Канского блока: 3 – метасадочно-вулканогенные и 4 – существенно метасадочные енисейского сланцевогнейсового комплекса (PP₄), 5 – кузевский и 6 – атамановский канского гранулитогнейсового (PP₁) комплексов; 7 – щелочные сиениты и трахиты (T₁₋₂), риолиты и лейкограниты (D₂) Северинской вулканотектонической депрессии; 8 – субщелочные граниты, лейкограниты Белогорского массива (D₃); 9 – гранитоиды Нижнеканского массива (O₃); 10 – субщелочные граниты, лейкограниты телькульского комплекса (PP₄); 11 – порфиробластические гнейсограниты, граниты, сиениты Посольенского массива (PP₄?, E₁₋₂); 12 – гнейсограниты, плагиограниты, порфиоровидные граниты (PP₃) Таракского массива; 13 – разломы (а), надвиги (б); 14 – границы несогласного залегания (а), прочие границы (б). На врезке показан контур карты рис. 1.

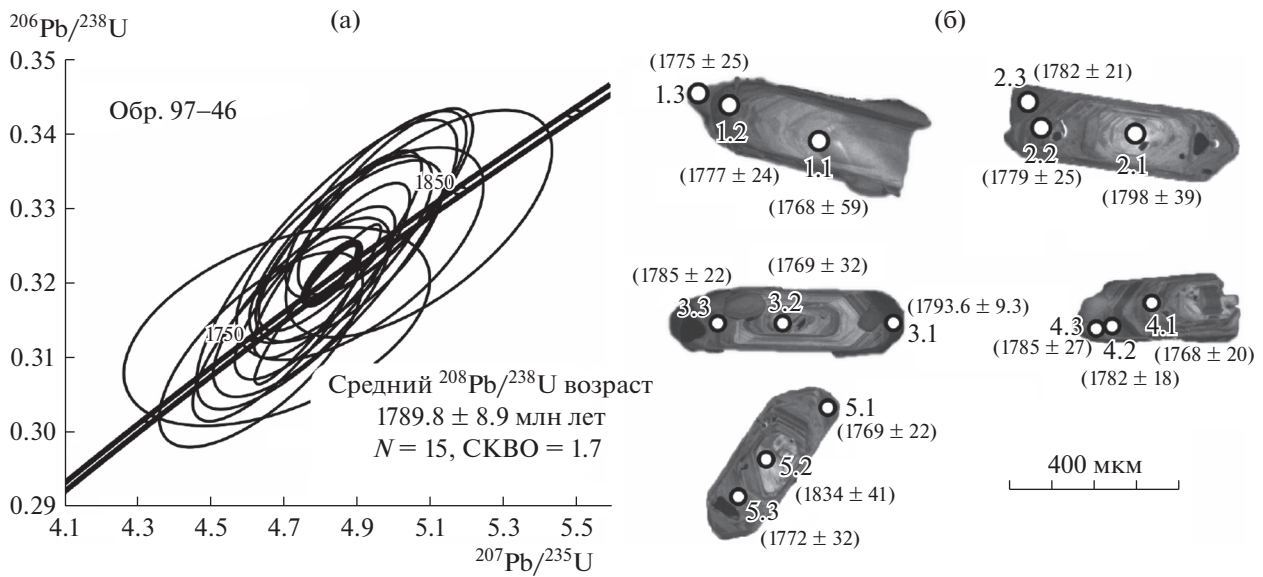


Рис. 2. U–Pb-диаграмма с конкордией для цирконов из гранитов Посольненского массива (а) и катодолуминесцентное изображение цирконов с точками датирования и возрастaми (б).

комплексов Таракского массива (табл. 1). Возраст Посольненского массива (1789.8 ± 8.9 млн лет) взаимосвязан с поздним этапом метаморфизма и попадает во временной промежуток формирования раннего и позднего гранитоидных комплексов Таракского массива – собственно таракского (1.84 млрд лет) и телькунского комплексов (1.76–1.75 млрд лет).

В целом образование крупных масс гранитоидов коррелирует с тектоническими событиями

палеопротерозойского возраста Южно-Енисейского (Ангаро-Канского) блока: коллизионные процессы фиксируются гранитоидами таракского комплекса; воздымание блока сопровождалось реоморфическими гранитоидами (мигматиты, гнейсограниты и гранитогнейсы) посольненского комплекса; кратонизации региона сопутствовали анорогенные гранитоиды телькунского комплекса. Со всеми этими процессами соотносятся метаморфические преобразования гранулитовых

Таблица 2. Результаты изотопного анализа и возраст цирконов из гранитоидов Посольненского массива

№ точки	U, г/г	Th, г/г	Изотопные отношения						Возраст, млн лет	D, %	
			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
1.1	48	52	1.12	0.1081	3.2	4.68	3.7	0.3142	1.7	1761 ± 27	0
1.2	126	124	1.02	0.1087	1.3	4.95	2	0.3306	1.6	1841 ± 25	-3
1.3	112	89	0.82	0.1086	1.4	4.86	2.1	0.3245	1.6	1812 ± 25	-2
2.1	55	78	1.48	0.1099	2.2	4.91	2.8	0.324	1.8	1809 ± 28	-1
2.2	117	96	0.85	0.1088	1.4	4.75	2.1	0.3168	1.5	1774 ± 24	0
2.3	174	156	0.92	0.1089	1.1	4.87	1.9	0.3187	1.5	1783 ± 23	0
3.1	922	212	0.24	0.10965	0.51	4.795	1.5	0.3172	1.4	1776 ± 21	1
3.2	71	51	0.75	0.1082	1.7	4.64	2.5	0.3111	1.7	1746 ± 26	1
3.3	141	123	0.90	0.1091	1.2	4.979	2	0.331	1.5	1843 ± 25	-3
4.1	154	134	0.90	0.1081	1.1	4.855	1.9	0.3257	1.5	1817 ± 24	-3
4.2	179	141	0.81	0.109	1	4.833	1.8	0.3217	1.5	1798 ± 23	-1
4.3	143	126	0.91	0.1092	1.5	4.88	2.1	0.3243	1.5	1811 ± 24	-1
5.1	146	136	0.96	0.1082	1.2	4.682	2	0.3138	1.6	1760 ± 25	1
5.2	45	40	0.91	0.1121	2.2	5.07	2.9	0.328	1.9	1829 ± 30	0
5.3	85	60	0.73	0.1084	1.8	4.82	3	0.3225	2.5	1802 ± 39	-2

толщ и формирование вулканогенно-осадочных пород второй толщ енисейского метаморфического комплекса, метаморфизованного, в свою очередь, на рубеже неопротерозоя.

Таким образом, активизация магматической деятельности на западной окраине Сибирского кратона могла быть связана со сборкой предполагаемого палеомезопротерозойского суперконтинента Нуны (Колумбия). Синхронность магматической активности и сопутствующего рифтогенеза, а также схожая последовательность однотипных тектоно-термальных событий на арктической окраине Нуны подтверждают территориальную близость Сибири и кратонов северной Атлантики (Лаврентии и Балтики) в широком диапазоне времени, что согласуется с современными палеомагнитными реконструкциями положения суперконтинентов [2, 4].

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках государственных заданий ИГМ и ИНГГ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ножкин А.Д.* // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. С. 1524–1544.
2. *Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С. и др.* // Геология и геофизика. 2015. Т. 55. С. 1031–1056.
3. *Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Ревердатто В.В. и др.* // Петрология. 2016. Т. 24. С. 423–440.
4. *Likhanov I.I., Santosh M.* // Precambrian Research. 2017. V. 300. P. 315–331.
5. *Кузнецов Ю.А.* Петрология докембрия Южно-Енисейского кряжа (Избранные труды, Т. 1). Новосибирск: Наука. 1988. 217 с.
6. *Попов Н.В.* // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. С. 1028–1041.
7. *Туркина О.М., Сухоруков В.П.* // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. С. 1961–1986.
8. *Бибикова Е.В., Грачева Т.В., Макаров В.А. и др.* // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т. 1. С. 35–40.
9. *Бибикова Е.В., Грачева Т.В., Козаков И.К., Плоткина Ю.В.* // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. С. 864–867.
10. *Ножкин А.Д., Туркина О.М., Лиханов И.И., Дмитриева Н.В.* // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. С. 312–332.
11. *Ножкин А.Д., Бибикова Е.В., Туркина О.М., Пономарчук В.А.* // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. С. 879–889.
12. *Ножкин А.Д., Туркина О.М., Баянова Т.Б.* // ДАН. 2009. Т. 428. С. 386–391.
13. *Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Даценко В.М. и др.* // ДАН. 2004. Т. 397. С. 374–379.
14. *Даценко В.М.* Гранитоидный магматизм юго-западного обрамления Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1984. 120 с.
15. *Шкодзинский В.С.* Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука. 1985. 232 с.

PROTEROZOIC GRANITOID MAGMATISM IN THE TECTONIC HISTORY OF THE ANGARA-KAN BLOCK IN THE SOUTH-WESTERN MARGIN OF SIBERIAN PLATFORM

N. V. Popov^a, I. I. Likhanov^{b,#}, Academician of the RAS V. V. Reverdatto^b, and K. A. Savko^c

^a *Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

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

^c *Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation*

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

The large masses of the oldest granitoids of the South Yenisei Ridge are divided into three complexes that differ in geological, geochemical and geochronological characteristics. The Tarak massif consists of two complexes of different ages: porphyritic granitoids of the S-A type (collisional) of the Tarak complex (1.84 Ga) and subalkaline granites of the A type (anorogenic) of the Telkun complex (1.76 Ga). The age of magmatic crystallization of gneiss granites of the Posolnensky complex is interconnected with the late stage of metamorphism and falls into the interval between the two previous complexes (1789.8 ± 8.9 Ma). Metamorphic transformations of the enclosing strata are recorded by small bodies of charnockitoids with estimates of 1.84 and 1.73 Ga.

Keywords: granitoid magmatism, metamorphism, tectonics, Yenisei Ridge