ВОЗРАСТНОЙ РЕПЕР ГРАНУЛИТОВОГО МЕТАМОРФИЗМА В АНГАРО-КАНСКОМ БЛОКЕ (ЮЖНО-ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНА ИЗ ПОСТКОЛЛИЗИОННЫХ ДАЕК ГРАНИТ-АПЛИТА

© 2021 г. П. С. Козлов^{а, *}, И. И. Лиханов^{b, **}, К. А. Савко^{с, ***}

^аИнститут геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого, УрО РАН, ул. Акад. Вонсовского, 15, Екатеринбург, 620016 Россия ^bИнститут геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, просп. Акад. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия ^cВоронежский государственный университет, Университетская пл., 1, Воронеж, 394006 Россия

*e-mail: kozlov@igg.uran.ru **e-mail: likh@igm.nsc.ru ***e-mail: ksavko@geol.vsu.ru Поступила в редакцию 25.02.2020 г. После доработки 10.03.2020 г. Принята к публикации 19.03.2020 г.

Выполнены изотопно-геохронологические исследования цирконов из дайки гранит-аплита, секущей гранат-гиперстеновые гнейсы кузеевской толщи канской серии неоархей-палеопротерозоя на южном продолжении Ишимбинско-Татарской региональной сдвиговой зоны (р. Кан). Морфология и внутренняя структура большинства зерен цирконов указывают на метаморфогенную природу и ксеногенный характер цирконов, захваченных кислой магмой из вмещающих пород в процессе интрудирования гранулитов. На основании этих данных полученный палеопротерозойский U-Pb возраст 1784 ± 6 млн лет может быть интерпретирован как время проявления гранулитового метаморфизма. Анализ имеющихся геологических и изотопных данных подтверждает постгранулитовый возраст образования аплитов, субсинхронный с образованием анорогенных лейкогранитов поздней фазы таракского комплекса, — на завершающей стадии формирования суперконтинента Нуна.

Ключевые слова: дайка гранит-аплитов, U-Pb геохронология, циркон, Ангаро-Канский блок, канская серия, Сибирский кратон

DOI: 10.31857/S0016752521020047

введение

Палеопротерозойская эпоха представляет собой важный период в истории Земли. К концу интервала 2.5—1.8 млрд лет была сформирована основная масса континентальной коры (Rosen et al., 1994). На рубеже 1.95—1.8 млрд лет произошли крупные коллизионные события, результатом чего явилось становление палеопротерозойского суперконтинента Нуна, частью которого был и Сибирский кратон (Roger, Santosh, 2002; Rosen, 2003). На западной его периферии был образован протяженный (>1500 км) Ангарский складчатый пояс, включающий метаосадочные, метаосадочно-вулканогенные и гранитоидные комплексы Енисейского кряжа и Присаянья.

Ангаро-Канский блок Южно-Енисейского кряжа, расположенный в центральной части Ангарского складчатого пояса на юго-западе Сибирского кратона, является древним, глубоко эродированным неоархей-палеопротерозойским выступом Сибирской платформы. Он сопоставляется с архейскими метаморфическими комплексами Анабара и Алданской плиты (Кузнецов, 1988) и относится к структурам раннедокембрийского фундамента (Ножкин, Туркина, 1993). Сложен блок преимущественно гранулит-гнейсо-амфиболитовыми комплексами кузеевской и атамановской толщ канской серии (Кузнецов, 1988; Легенда, 2002), интрудированных синколлизионными Таракскими полихронными гранитоилами с возрастом 1.9-1.75 млрд лет (Бибикова и др., 2001; Ножкин и др., 2003). Принято считать, что коллизионный этап становления структуры Сибирского кратона завершился около 1.84 млрд лет вхождением его в состав суперконтинента Нуна (Rosen, 2003). На постколлизионном этапе развития региона подобный рубеж проявлений гранитоидного магматизма в интервале 1.85—1.75 млрд лет на удалении от интрузий таракского гранитоидного массива ранее не был зафиксирован.

Тесная ассоциация разнообразных породных комплексов Ангаро-Канского блока свидетельствует о весьма сложном строении (Ножкин и др., 2016, 2019, 2020; Лиханов и др., 2015). 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 (Likhanov, Santosh, 2017, 2019; Козлов и др., 2020; Likhanov et al., 2018). Актуальность выполненных исследований обосновывается дефицитом определений возраста геологических комплексов на юге 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.

Выполненные нами исследования выявили новые проявления активности магматических событий в регионе, свидетельствующие о постколлизионном растяжении высокометаморфизованной континентальной коры.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Объект работ расположен в среднем течении р. Кан, на крайнем юге Таракского геоблока (Ножкин, Туркина, 1993). Особый интерес здесь был проявлен к скальным выходам гранат-гиперстеновых гнейсов кузеевской толщи на западном фланге крупной тектонической зоны (мощностью около 1.5 км) (азимут падения 210°-230°, угол падения 60-80°). По нашим представлениям эта зона является южным продолжением Ишимбинско-Татарской региональной сдвиговой зоны, прослеживающейся с севера на юг в субмеридиональном направлении на сотни км. Выражена зона тонкополосчатыми бластомилонитами $Q_z + Bt + P_x$ (реликтовый) + Grt + Pl + Hbl состава с примесью зерен вторичных хлорита и мусковита по гранат-гиперстеновым гнейсам (рис. 1г) и маркируется роями более поздних синтектонических вертикальных даек гранатсодержащих миндалекаменных долеритов (мощностью от первых см до одного и более м). Здесь и далее в тексте символы минералов приняты по (Whitney, Evans, 2010). В западном борту этой зоны в скальном обнажении правого берега р. Кан (координаты: широта 56°8'27.05" С; долгота 94°43'48.69" В) была закартирована и опробована (проба К-16-8) дайка лейкократового гранит-аплита (мощность 0.9-1 м). Залегает она субсогласно с рассланцеванием диафторированных гранат-гиперстеновых гнейсов (аз. пад. 80°-

 85° , уг. $40^{\circ}-45^{\circ}$) и сечется миндалекаменными долеритами (диаметр 1-2 мм) с точечным выделением идиоморфного граната альмандинового состава (1-2 мм). Предположительно, генезис граната может быть обусловлен автометаморфизмом долеритов. Дайка аплита слабо рассланцевана и низко метаморфизована, что связано с ее приуроченностью к западному борту региональной тектонической зоны.

Аплиты (проба К-16-8) имеют светло-серый цвет, однородную мелкозернистую структуру, массивную, с участками слабосланцеватой, согласной со сланцеватостью вмещающих гнейсов, текстуру. Под микроскопом порода представлена мелкозернистым (0.5-1.0 мм) ксеноморфным агрегатом кварца (30-35 об. %), калиевого полевого шпата (35-45 об. %) и плагиоклаза (20-25 об. %) (рис. 1а) с небольшими скоплениями чешуек мусковита и биотита между ними. Структура гранит-аплитов аллотриоморфнозернистая, участками симплектитовая (рис. 1в) с прорастанием зерен калиевого полевого шпата альбитом. Промежутки между зернами кварца и полевыми шпатами выполнены вторичным микрозернистым кварцем микрогранобластовой структуры с участками реликтовой микроаллотриоморфнозернистой (рис. 1б), что свидетельствует о перекристаллизации кварца в процессе низкотемпературного динамометаморфизма. Об этом также свидетельствуют катаклазированные (с разрывами) зерна плагиоклаза, микрогрануляция и облачное погасание кварца, а также ориентированные в плоскости рассланцевания биотит и мусковит, тесно ассоциирующие с зернами кальцита и гломеролепидобластами хлорита. Низкотемпературные изменения проявлены развитием хлорита по биотиту, иногда хлорит образует тонкие мономинеральные плёнки по плоскостям рассланиевания. Гипергенные процессы связаны с серицитизацией полевых шпатов. Акцессории представлены цирконом, апатитом и рудным минералом.

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

U-Pb датирование цирконов из пробы К-16-8 выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ. г. С.-Петербург) по стандартной методике с использованием эталонных цирконов "91500" и "Temora" (Larionov et al., 2004). Проанализировано 12 зерен размером около 100 мкм в диаметре (рис. 2). В катодолюминесцентном изображении цирконы представлены изометрическими зернами светло-серого цвета. Зерна непрозрачные, неправильных очертаний. Часть цирконов зональна с четко выраженными ядрами и каймами. Большинство зерен цирконов имеют облик в виде "футбольного мяча", секториальную и "елоч-

ГЕОХИМИЯ том 66 № 2 2021



Рис. 1. Фотографии микроструктур пород района исследований. Гранит-аплиты: (а) мелкозернистая, аллотриоморфнозернистая; (б) микрогранобластовая структура перекристаллизационного кварца в межзерновом пространстве полевых шпатов и первичных зёрен кварца; (в) мирмекитовая на границе калиевого полевого шпата с альбитом; (г) бластокатаклазитовая с вращением (порфирокласты) и бластомилонитовая (основная ткань) структуры апогранат-гиперстеновых бластомилонитов кузеевской толщи из тектонической зоны, залегающей вблизи дайки аплита.

ную" зональность, низкое Th/U отношение менее 0.2, характерные для гранулитовых цирконов (Краснобаев, 1986; Каулина, 2001). Морфологические признаки и черты внутренней структуры большинства цирконов свидетельствуют о метаморфогенной природе и ксеногенном характере цирконов, захваченных кислой магмой из вмещающих пород в процессе интрудирования гранулитов. Дискордия, построенная по 19 точкам из краевых частей и трем ядрам (точки 8.1, 9.1 и 12.1) цирконов (табл. 1), имеет верхнее пересечение с конкордией 1784±6 млн лет (рис. 3а), что близко перекрывается в пределах ошибки со средневзвешенным значением ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb возраста — 1785 \pm 6 млн лет (рис. 36). Полученные возраста, таким образом, можно интерпретировать как время кристаллизации циркона в процессе гранулитового метаморфизма (Краснобаев, 1986; Каулина, 2001). Дискордантность возрастов, вероятно, обусловлена физико-химическим воздействием магмы на ксеногенные цирконы, а также присутствием среди них зерна циркона магматической природы (точка 12.1, осцилляционная зональность, Th/U = 0.6, U = 331 ppm).

Первые изотопно-геохронологические результаты по ксеногенным цирконам около 1.78 млрд лет из дайки слабометаморфизованных аплитов в Ангаро-Канском блоке являются свидетельством постколлизионных процессов в позднем палеопротерозое и подтверждают проявление эндогенных событий на юго-западе Сибирского кратона. Предположительно, их внедрение могло быть связано с внутриплитным растяжением коры на поздней стадии формирования коллизионного орогена. Судя по тому, что аплиты претерпели слабое рассланцевание, микрогрануляцию кварца и низкотемпературный метаморфизм в условиях фации зелёных сланцев, их внедрение



Рис. 2. Катодолюминесцентное изображение цирконов из дайки гранит-аплитов в районе среднего течения р. Кан (проба К-16-8). Кратер анализа (размер кружка) приведен в уменьшенном в два раза масштабе.

происходило субсинхронно с палеопротерозойским низкотемпературным метаморфизмом гранулит-гнейсового комплекса вблизи тектонической зоны.

Согласно тектонической модели раннедокембрийской эволюции Южно-Енисейского кряжа (Попов, 2001), высокоградиентные гранулит-амфиболитовые и гранитоидные комплексы канской серии образовались в коллизионный этап в период 1.9—1.85 млрд лет в результате погружения кузеевского комплекса под атамановский. Высокоградиентный метаморфизм от гранулитовой

Точка	TT	Th, ² ppm	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	²⁰⁶ Pb _c , %	²⁰⁶ Pb*, ppm	Изотопные отношения ¹							Возраст, млн лет		
	U, ppm					$\frac{\frac{207}{206}}{Pb}$	±%	$\frac{{}^{207}\text{Pb}^{*}}{{}^{235}\text{U}}$	±%	$\frac{{}^{206}\text{Pb*}}{{}^{238}\text{U}}$	±%	Rho	$\frac{\frac{206}{208}Pb}{238}U$	$\frac{\frac{207}{Pb}}{\frac{206}{Pb}}$	D, %
8.1	2287	417	0.19	0.02	605	0.1093	0.24	4.636	1.8	0.3076	1.7	0.991	1729 ± 27	1787.7 ± 4.3	3
15.1	195	14	0.07	0.32	54.3	0.1091	1.3	4.87	2.3	0.3236	1.8	0.811	1807 ± 29	1785 ± 24	-1
7.1	48	4	0.08	0.28	13.7	0.1074	1.9	4.9	2.7	0.3308	2	0.726	1842 ± 31	$1755\pm~34$	-5
15.2	178	14	0.08	0.02	50.6	0.10987	0.78	5.023	1.9	0.3316	1.7	0.908	1846 ± 27	1797 ± 14	-3
1.1	122	8	0.07	0.13	35.1	0.1087	1.2	4.99	2.1	0.3331	1.8	0.821	1853 ± 28	1778 ± 22	-4
10.1	82	6	0.07	0.13	23.7	0.107	1.2	4.93	2.1	0.3339	1.8	0.819	1857 ± 28	1749 ± 23	-6
6.1	100	7	0.07	0.34	29	0.1082	1.3	5.01	2.2	0.3358	1.8	0.802	1866 ± 29	1770 ± 24	-5
4.1	148	10	0.07	0.05	42.8	0.10899	0.91	5.068	1.9	0.3372	1.7	0.881	1873 ± 28	1783 ± 17	-5
8.2	132	9	0.07	0.00	38.4	0.1078	1.1	5.03	3	0.3387	2.8	0.934	1880 ± 46	1762 ± 20	-6
13.1	163	11	0.07	0.14	47.6	0.10975	0.91	5.13	2	0.3391	1.7	0.884	1882 ± 28	1795 ± 17	-5
12.2	1894	275	0.15	0.06	553	0.1136	0.91	5.293	1.9	0.3397	1.6	0.872	1885 ± 27	1848 ± 17	-2
9.1	907	103	0.12	0.11	265	0.1095	0.41	5.134	1.7	0.34	1.6	0.970	1887 ± 27	1791 ± 7.5	-5
12.1	331	215	0.67	0.35	97.3	0.1207	1.1	5.52	2.1	0.3406	1.7	0.807	1890 ± 27	1919 ± 22	2
2.1	136	9	0.07	0.05	39.7	0.1097	10	5.15	2	0.3408	1.7	0.865	1890 ± 28	1794 ± 18	-5
14.1	40	3	0.07	0.00	11.8	0.1089	1.8	5.17	2.7	0.3445	2	0.752	1908 ± 34	1781 ± 33	-7
11.1	62	4	0.06	0.08	18.5	0.1079	1.4	5.13	2.3	0.345	1.9	0.802	1911 ± 31	1765 ± 25	-8
3.1	62	4	0.07	0.23	18.4	0.1086	1.5	5.18	2.3	0.3463	1.8	0.771	1917 ± 30	1775 ± 27	-7
5.1	261	21	0.08	0.07	78	0.10834	0.65	5.196	1.8	0.3478	1.7	0.932	1924 ± 28	1772 ± 12	-8
9.2	128	7	0.06	0.21	41	0.1071	1.2	5.51	2.1	0.373	1.7	0.824	2043 ± 30	1751 ± 22	-14

Таблица 1. Результаты изотопного анализа и возраст цирконов из пробы (К-16-8) аплитов

Примечание. Ошибки приведены на уровне 1σ. Pb_c и Pb^{*} – обыкновенный и радиогенный свинец, соответственно. Ошибка калибровки стандарта не превышает 0.53%. ¹ – Поправка на обыкновенный свинец проведена по измеренному ²⁰⁴Pb. *D* – дискордантность. *Rho* – коэффициент корреляции отношений ²⁰⁷Pb*/²³⁵U и ²⁰⁶Pb*/²³⁸U. Последовательность точек снизу вверх расположена в порядке увеличения возраста.



Рис. 3. U-Pb диаграмма с конкордией (а) и распределение ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb возраста (б) для цирконов из гранит-аплитов (K-16-8).

фации повышенных давлений до амфиболитовой фации был тесно связан с внедрением коллизионных гранитов таракского комплекса с временем проявления 1.87-1.84 млрд лет (Ножкин др., 2003). Орогенный этап в регионе сменился этапом рифтообразования (1.80-1.60 млрд лет) и сопровождался метаморфизмом мафических гранулитов (1.77 млрд лет) (Туркина и др., 2012), внедрением даек анорогенных гранит-аплитов вблизи разлома субсинхронно с лейкогранитами поздней фазы Таракского комплекса (1.75 млрд лет) и чарнокитами (1.73 млрд лет) (Бибикова и др., 2001). В целом, полученные значения возраста гранулитового метаморфизма, установленные по ксеногенным ширконам из гранит — аплитов совпадают с таковыми для посольненского массива (1790 ± 9 млн лет) (Попов и др., 2020) в пределах погрешности метода, взаимосвязаны с поздним этапом регионального метаморфизма и попадают во временной промежуток формирования раннего и позднего гранитоидных комплексов – собственно Таракского комплекса (1.84 млрд лет) и Телькунского комплекса (1.76-1.75 млрд лет).

Кроме того, в центральной части Таракского блока, к северо-западу от дайки аплита, проявлен ультравысокотемпературный UHT метаморфизм пород кузеевской толщи с возрастом 1744 \pm 26 млн лет по биминеральной изохроне монацит-циркон (Лиханов и др., 2016). Эволюция *P-T* параметров этих пород с ходом "против часовой стрелки" при высоком градиенте до 200°С/кбар указывает на развитие UHT парагенезисов Ангаро-Канского блока при сильном прогреве 900–1000°С с последующим субизобарическим остыванием (Лиханов, 2020). Такие условия отвечают обстановкам внутриплитного растяжения, сопровождаемого андерплейтингом базитовых расплавов в связи с предполагаемой активностью Тимптонского мантийного плюма (~1.75 млрд лет) в составе Транссибирской КМП (Reverdatto et al., 2019). Рассчитанные значения температур и эволюция *P-T* параметров метаморфизма во времени хорошо согласуются с условиями формирования UHT гранулитов сапфиринсодержащих гранулитов Анабарского щита (Ножкин и др., 2019).

Таким образом, анализ возрастных соотношений между породами региона свидетельствует о внедрении дайки аплитов после этапа гранулитового метаморфизма и субсинхронно с UHT метаморфизмом, что позволяет отнести дайковый магматизм по времени проявления к поздней фазе лейкогранитов 1.75 млрд лет Таракского полихронного комплекса. Совокупность данных о магматической и тектоно-метаморфической активности в регионе подтверждает представление о геодинамической обстановке внутриплитного растяжения континентальной коры на западе Сибирского кратона, происходящих в интервале 1.80—1.75 млрд лет и позднее.

Активизация магматической деятельности на западной окраине Сибирского кратона могла быть связана со сборкой предполагаемого палеомезопротерозойского суперконтинента Нуна (Колумбия) (Roger, Santosh, 2002). Синхронность магматической активности и сопутствующего рифтогенеза, а также схожая последовательность однотипных тектоно-термальных событий на арктической окраине Нуны, подтверждают территориальную близость Сибири и кратонов се-

ГЕОХИМИЯ том 66 № 2 2021

Int. 58(4).

верной Атлантики (Лаврентии и Балтики) в широком диапазоне времени, что согласуется с современными палео реконструкциями положения суперконтинентов (Evans, Mitchell, 2011).

Исследования выполнены в рамках госзаданий ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) и ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург, АААА-А18-118052590032-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бибикова Е.В., Грачева Т.В., Козаков И.К., Плоткина Ю.В. (2001) U-Pb возраст гиперстеновых гранитов (кузеевитов), Ангаро-Канский выступ (Енисейский кряж). *Геология и геофизика.* **42**(5), 864-867.

Каулина Т.В. (2010) Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 144 с.

Козлов П.С., Филиппов Ю.Ф., Лиханов И.И., Ножкин А.Д. (2020) Геодинамическая модель эволюции Приенисейской палеосубдукционной зоны в неопротерозое (западная окраина Сибирского кратона), Россия. *Геотектоника*. **54**(1), 62-78.

Краснобаев А.А. (1986) Циркон, как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 146 с.

Кузнецов Ю.А. (1988) Петрология докембрия Южно-Енисейского кряжа. Избранные труды. Т. 1. Новосибирск: Наука, 218 с.

Легенда Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 200000 (второе издание) (2002). Под ред. Качевского Л.К. Красноярск: ПГО Красноярскгеология, 200 с.

Лиханов И.И. (2020) Метаморфические индикаторы геодинамических обстановок коллизии, растяжения и сдвиговых зон земной коры. *Петрология.* **28**(1), 4-22.

Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Зиновьев С.В., Хиллер В.В. (2015) *Р-Т-t* реконструкция метаморфической истории южной части Енисейского кряжа (Сибирский кратон): петрологические следствия и связь с суперконтинентальными циклами. *Геология и геофизика*. **56**(6), 1031-1056.

Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Ревердатто В.В., Крылов А.А., Козлов П.С., Хиллер В.В. (2016) Метаморфическая эволюция ультравысокотемпературных железисто-глиноземистых гранулитов Южно-Енисейского кряжа и тектонические следствия. *Петрология*. **24**(4), 423-440.

Ножкин А.Д., Туркина О.М. (1993) Геохимия гранулитов канского и шарыжалгайского комплексов. Новосибирск: Труды ОИГГиМ СО РАН, 221 с.

Ножкин А.Д., Бибикова Е.В., Туркина О.М., Пономарчук В.А. (2003) Изотопно-геохронологическое исследование (U-Pb, Ar-Ar, Sm-Nd) субщелочных порфировидных гранитов Таракского массива Енисейского кряжа. *Геология и геофизика.* **44**(9), 879-889.

Ножкин А.Д., Туркина О.М., Лиханов И.И., Дмитриева Н.В. (2016) Позднепалеопротерозойские вулканические ассоциации на юго-западе Сибирского кратона (Ангаро-Канский блок). *Геология и геофизика*. **57**(2), 312-332.

Ножкин А.Д., Лиханов И.И., Савко К.А., Крылов А.А., Серов П.А. (2019) Сапфиринсодержащие гранулиты Анабарского щита. *Геохимия*. **64**(5), 486-502. Nozhkin A.D., Likhanov I.I., Savko K.A., Krylov A.A., Serov P.A. (2019b) Sapphirine-bearing granulites of the Anabar shield. *Geochem. Int.* **57**(5), 524-539.

Ножкин А.Д., Туркина О.М., Лиханов И.И. (2020) Поздненеопротерозойские островодужные вулканические ассоциации в аккреционном поясе юго-западного обрамления Сибирского кратона (Предивинский террейн Енисейского кряжа). *Геохимия* 65(4) в печати. Nozhkin A.D., Turkina O.M., Likhanov I.I. (2020) Late Neoproterozoic island-arc volcanic associations in the accretion belt at the southwestern margin of the Siberian Craton (Predivinsky Terrain of the Yenisei Ridge). *Geochem*.

Попов Н.В. (2001) Тектоническая модель раннедокембрийской эволюции Южно-Енисейского кряжа. *Гео*логия и геофизика. **42**(7), 1028-1041.

Попов Н.В., Лиханов И.И., Савко К.А. Ревердатто В.В. (2020) Палеопротерозойский гранитоидный магматизм в тектонической истории Ангаро-Канского блока юго-западного обрамления Сибирской платформы. *ДАН*. **490**(2).

Туркина О.М., Бережная Н.Г., Лепехина Е.Н., Капитонов И.Н. (2012) Возраст мафических гранулитов из раннедокембрийского метаморфического комплекса Ангаро-Канского блока: U-Pb и Lu-Hf изотопный и редкоземельный состав циркона. ДАН. **445**(4), 450-458.

Evans D.A.D., Mitchell R.N. (2011) Assembly and breakup of the core of Paleoproterozoic–Mesoproterozoic supercontinent Nuna. *Geology*. **39**, 443-446.

Larionov A.N., Andreichev V.A., Gee D.G. (2004) The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite. In The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica (Eds. Gee D.G., Pease V.L.) *Geol. Soc. London Mem.* **30**, 69-74.

Likhanov I.I., Santosh M. (2017) Neoproterozoic intraplate magmatism along the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Rodinia supercontinent. *Precambrian Res.* **300**, 315-331.

Likhanov I.I., Santosh M. (2019) A-type granites in the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Precambrian supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia. *Precambrian Res.* **328**, 128-145.

Likhanov I.I., Régnier J.-L., Santosh M. (2018) Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: Implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean. *Lithos.* 304-307, 468-488.

Reverdatto V.V., Likhanov I.I., Polyansky O.P., Sheplev V.S., Kolobov V.Yu. (2019) The nature and models of metamorphism. Springer: Chum, 330 p.

Rogers J.J.W., Santosh M. (2002). Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent. *Gondwana Res.* **5**, 5-22.

Rosen O.M. (2003). The Siberian Craton: tectonic zonation and stages of evolution. *Geotectonics* **37**, 175-192.

Rosen, O.M., Condie, K.C., Natapov, L.M. & Nozhkin, A.D. (1994). Archean and Early Proterozoic evolution of the Siberian craton: a preliminary assessment. In *Archean crustal evolution* (Ed. Condie K.S.) *Elsevier:* Amsterdam, 411-459.

Whitney D.L., Evans B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* **95**, 185-187.

ГЕОХИМИЯ том 66 № 2 2021