ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2020, том 493, № 2, с. 5–10

ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.2:552.3

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ НЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО ГРАНИТОИДНОГО МАГМАТИЗМА ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

© 2020 г. Член корреспондент РАН С. Д. Соколов[1], М. В. Лучицкая[1,*], А. В. Моисеев[1]

Поступило 15.05.2020 г.
После доработки 19.05.2020 г.
Принято к публикации 20.05.2020 г.

Корреляция неопротерозойского гранитоидного магматизма Новосибирских островов, о. Врангеля, Чукотки, Чукотского бордерленда и Северной Аляски указывает на единство фундамента микроплиты Арктическая Аляска–Чукотка и формирование континентальной коры в эпоху тиманской (байкальской) орогении. Возраст унаследованных ядер циркона и Nd-модельный возраст указывают на участие мезо- и реже палеопротерозойской коры в формировании эпигренвильского континента Арктида. В современной структуре тиманиды прослеживаются от Тиманского кряжа, через Полярный Урал и Таймыр на Чукотку и северную Аляску, обрамляя края континентов Балтики, Сибири и С. Америки. Обстановка формирования неопротерозойских гранитоидов для большей части микроплиты предполагается надсубдукционная окраинно-континентальная, реже рифтогенная на поздних стадиях тиманской орогенеза. Происхождение гренвильской и неопротерозойско-тиманской популяций обломочных и захваченных цирконов предлагается объяснять локальными источниками сноса.

Ключевые слова: тектоника, геодинамика, гранитоидный магматизм, геохронология, циркон, Восточная Арктика.

DOI: 10.31857/S2686739720080204

В Восточной Арктике выделяется микроплита (микроконтинент, террейн) Арктическая Аляска–Чукотка (ААЧК), которая занимает пространство от Новосибирских островов до Северной Аляски. Значительная часть микроплиты скрыта под водами Восточно-Сибирского и Чукотского морей (рис. 1). Южная граница микроплиты проходит на Чукотке по Южно-Анюйской сутуре, а на Аляске – по сутуре Кобук-Ангаючам. Северная граница микроплиты трактуется различно. В структурном отношении микроплита делится на две части [1]: южную деформированную и северную без следов мезозойских деформаций. Граница проходит по фронту кайнозойских надвигов складчатой области хр. Брукс, фронтальному надвигу Врангеля–Геральда и его западному продолжению в Восточно-Сибирском море.

Выходы фундамента ААЧК известны на о-ве Врангеля, Восточной Чукотке и Северной Аляске (п-ов Сьюард и хр. Брукс). Для всех этих объектов характерны гранитоиды, а также вулканиты кислого состава в возрастном диапазоне 750–550 млн лет (единичные проявления 970 и 865 млн лет).

В данной статье проводится анализ оригинальных и опубликованных данных по неопротерозойскому гранитоидному магматизму Восточной Арктики с целью выяснения его тектонической позиции и геодинамических обстановок формирования.

Северная Аляска. *В горах Хаб Маунтин* (хр. Брукс) протерозойские метаморфические породы прорваны ортогнейсами гранодиоритового состава с U–Pb-возрастом 742 ± 6 и 750 ± ± 6 млн лет [2]. Редкоэлементный состав гранитов позволяет относить их к внутриплитным или к гранитам А-типа. Однако, приведенные в опуб-

[1] *Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия*
**E-mail: luchitskaya@ginras.ru*

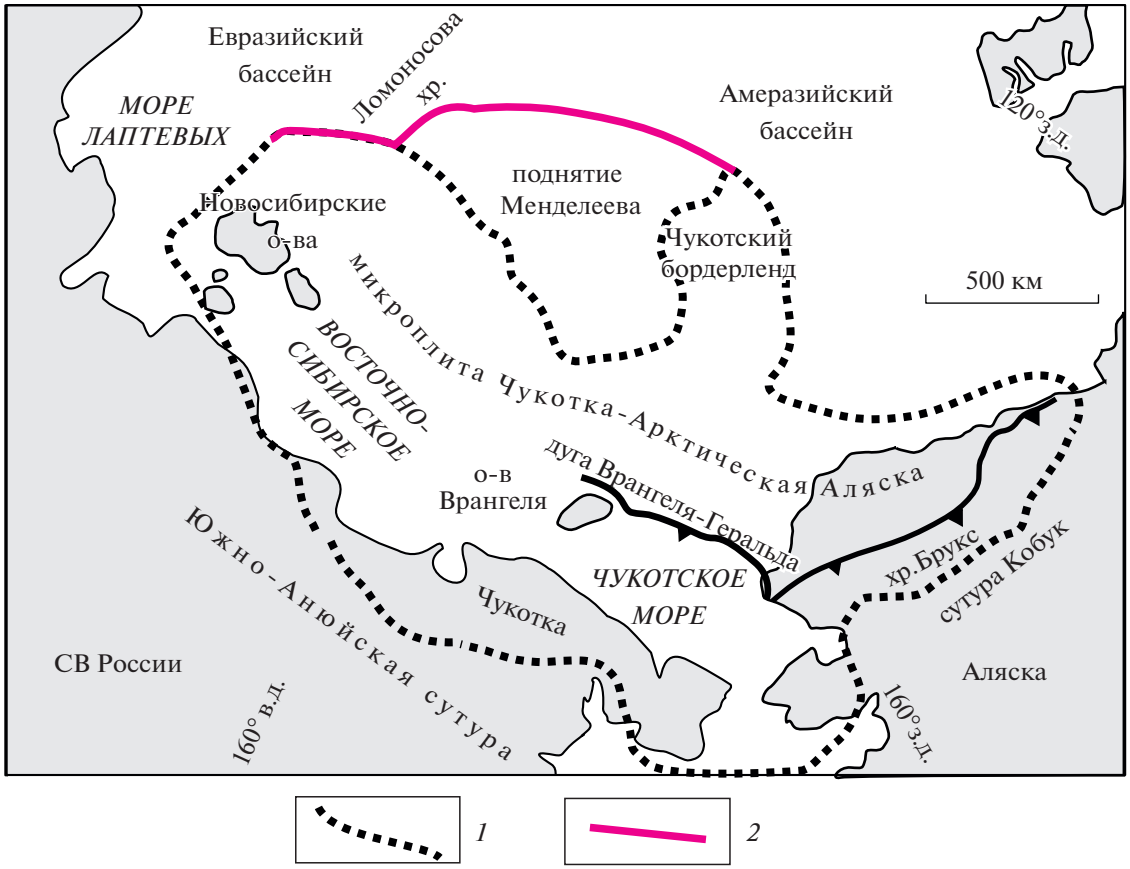

Рис. 1. Схема, иллюстрирующая положение микроплиты Арктическая Аляска–Чукотка в Восточной Арктике. *1* – контур микроплиты по [2, 7, 16]; *2* – новый вариант северной границы.

ликованной литературе геохимические данные малочисленны.

Гранитно-метаморфический купол Киглуаик п-ова Сьюард содержит ортогнейсы кислого состава с U–Pb-возрастами 670 ± 5 и 669 ± 5 млн лет и в интервале от 687 ± 9 до 663 ± 7 млн лет [2]. Обстановка формирования протолита ортогнейсов предполагается островодужной. Следующий эпизод неопротерозойского гранитного магматизма п-ова Сьюард фиксируется в диапазоне 565–555 млн лет [2].

Чукотка. *Кооленьский купол* Восточной Чукотки сложен метаморфизованными породами, включающими тела ортогнейсов, которые датированы U–Pb SIMS-методом в интервале 580–650 млн лет [2]. Геодинамическая обстановка формирования ортогнейсов не определена.

Велиткенайский гранитоидный массив Западной Чукотки имеет меловой возраст (102–105 млн лет). В обрамлении массива присутствуют гнейсовидные разности (велиткенайский комплекс по [3]), протолитом которых были магматические породы средне-кислого состава. U–Pb SIMS-дискордантный возраст по верхнему пересечению 661 ± 11 млн лет и конкордантный возраст 611 ± 6 млн лет [3].

Остров Врангеля. Метаморфический фундамент (врангелевский комплекс) содержит тела гранитоидов с U–Pb-возрастами 699, 633 и 590 [4], 703 ± 5 и 697 ± 5 млн лет [3], 730–690 и 610–590 млн лет [5]. Часть зерен циркона о. Врангеля имеет унаследованные ядра с возрастами 1010 ± 20, 1170 ± 30, 1204 ± 16, 1360 ± 25, 1435 ± 20, и >2600 млн лет. Более древние гранитоиды образовались в обстановке окраинно-континентального пояса, а вулканиты кислого и основного состава 610–590 млн лет – в рифтогеной обстановке.

Отложения нижнего палеозоя содержат более 65% популяцию обломочных цирконов 900–1360 млн лет с хорошо выраженными максимумами 960, 1032, 1082, 1180.

Таблица 1. Параметры гранитоидного магматизма микроплиты Арктическая Аляска–Чукотка

Объект	Порода	U–Pb возраст (млн лет)	Sr–Nd изотопный состав	Модельный возраст ($t_{Nd(DM)}$) (млрд лет)	Геодинамическая обстановка	ссылки
О-в Врангеля, врангелевский комплекс	Метагранитоиды,	680–720 (ядра 1010, 1170, 1204, 1360, 1435 и >2600)	εNd = = –4.46...–2.97	1.36–1.99 1.06–1.7	Окраинно-континентальная, коллизионная	[3–5]
П-ов Сьюард, Аляска	Ортогнейсы Кейп Ном	670 ± 5, 669 ± 5, 687 ± 9–663 ± 7	εNd = –2.6 $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.707	1.47	Островодужная	[2, 3]
	Ортогнейсы Салмон Лейк	662, 678	εNd = –4.0...–2.7 $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.707	1.37; 1.39	Островодужная	
	Ортогнейсы Томсон Крик	555, 565 (2 зерна 732 и 1072)	εNd = –4...–2.5 $^{87}Sr/^{86}Sr$ = = 0.705–0.712	0.95–1.36, 1 обр. 1.9	Рифтогенная	
Хр.Брукс, Аляска	Ортогнейсы Эрни Лейк	968 ± 5 (1 ядро 2714 ± 33)	εNd = –6.8, –5.4 $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.758	1.63; 1.51	Островодужная	[2, 3]
	Ортогнейсы Хаб Маунтин	742 ± 6 750 ± 6	εNd = –1.1...–1.5	1.46–1.49	Внутриплитная	
	Гранит Каларичук Хиллс	705 ± 35				
Купол Коолень, Чукотка	Ортогнейсы	644 ± 6 656 ± 6 650–540 574 ± 9 (ядра 1800)			?	[2]
	Лейкосома	650 ± 34 (666)	εNd = –1.1...–1.5	1.41.–1.6		
	Парагнейсы	dZr 1700–1150				
Велиткенайский комплекс, Чукотка	Гнейсы Лейкогранит	661 ± 11 611 ± 6 (ядра 1000–1800)			Островодужная	[3, 16]
О-в Жохова, Новосибирские о-ва	Плагиогранито-гнейсы	600–660 ядра (1470–1880)			?	[7–9]
	Гранито-гнейсы	568 ± 4, 602 ± 2, 533 ± 1, 578 ± 2				
	Гранитоиды	552–602				
Чукотский бордерленд	Незрелый осадочный протолит гнейсов	*d*Zr 480–545, 560–650 и 1000–1700			?	[6]
	Плутонический протолит гнейсов	610 ± 24 и 580 ± 20				
	Ортогнейсы	430 ± 4, 432 ± 4 ядра 860–980, 1100–1450, 1650 и 1825	εNd = –4.8 $^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.707		Окраинно-континентальная	

Примечание. *d*Zr – детритовые цирконы

Чукотский бордерленд. С крутого подводного эскарпа были драгированы амфиболиты, гнейсы и ортогнейсы [6]. Цирконы из гнейсов образуют три возрастных кластера: 1) возрасты 480–545 млн лет получены по округлым зернам циркона метаморфического генезиса и отражают время метаморфического события; 2) возрасты в интервале 560–650 млн лет интерпретируются как время кристаллизации плутонического протолита 3) цифры возраста в интервале 1000–1700 млн лет установлены по ядрам субидиоморфных зерен циркона и трактуются как унаследованные из незрелого осадочного протолита [6].

U–Pb-возрасты 430 ± 4 и 432 ± 4 млн лет очковых ортогнейсов отражают возраст кристаллизации магматической породы. Геохимические и изотопные параметры ортогнейсов указывают на окраинно-континентальное происхождение.

Остров Жохова. Плиоцен-четвертичные базальты содержат ксенолиты гнейсов и песчаников, состав и возраст которых дает информацию о породах фундамента. U–Pb SIMS-конкордантный возраст гнейсов плагиогранитного состава 630–650 млн лет [7] и 552–602 и 647 млн лет [8]. В работе [9] приведены U–Pb SIMS-датировки цирконов из 4 гранито-гнейсовых ксенолитов: 568 ± 4, 602 ± 2, 533 ± 1, 578 ± 2 млн лет.

На основании рассмотренного материала можно выделить неопротерозойский этап гранитоидного магматизма и формирования континентальной коры Восточной Арктики. Все объекты микроплиты ААЧК имеют единый фундамент, возраст становления которого соответствует тиманской (байкальской) орогении. Следовательно, в современной структуре тиманиды прослеживаются от Тиманского кряжа, через Полярный Урал и Таймыр на Чукотку и северную Аляску, обрамляя края континентов Балтики, Сибири и Северной Америки.

Результаты подводного опробования поднятия Менделеева свидетельствуют о древнем протерозойском возрасте континентальной коры, которая перекрывается мелководными эпиконтинентальными отложениями [10, 11]. Наиболее молодые зерна захваченных цирконов имеют возраст 800–1100 и 668 млн лет. Присутствие в базальтах цирконов с возрастом 260 млн лет подразумевает существование пермотриасового магматизма, характерного для Сибирской платформы и Чукотки. Поднятие Менделеева рассматривается как глубокопогруженная часть континентальной окраины Евразии, сохраняющей тесную связь со структурами прилегающей островной и материковой суши [10, 11]. Следовательно, можно предположить вхождение этой структуры в состав микроплиты ААЧ (рис. 1).

О возрасте более древних коровых пород, в которые внедрялись неопротерозойские гранитоиды, можно судить по датировкам унаследованных цирконов и модельному Nd-возрасту гранитоидов. Так, широкий спектр мезопротерозойских (1000–1800 млн лет), в основном, гренвильских возрастов установлен в ядрах цирконов (табл. 1).

Модельные Nd-возрасты неопротерозойских гранитоидов концентрируются в интервале 950–1900 млн лет (табл. 1), для метавулканитов кислого состава о-ва Врангеля 1120, 1230 млн лет [5] и Аляски 1380 млн лет [2], что указывает на присутствие мезопротерозойских пород в фундаменте ААЧК.

Эти данные согласуются с представлениями Н.С. Шатского, Ю.М. Пущаровского о древней Гиперборейской платформе или Л.П. Зоненшайна об эпигренвильском континенте Арктида [12, 13].

Континентальная кора, сформировавшаяся в неопротерозое, подверглась переработке во время каледонского ([6] и др.) и элсмирского ([5, 14, 15] и др.) орогенеза с добавлением ювенильного материала. Раннемеловой гранитоидный магматизм локализован в южной части микроплиты ААЧК (на Чукотке и Северной Аляске), которая подверглась деформациям позднекиммерийской (чукотской) фазы орогенеза.

Среди обломочных цирконов из фанерозойских отложений ААЧК присутствуют гренвильская и неопротерозойско-тиманская популяции, что не позволяет рассматривать Сибирь в качестве источника сноса для отложений ААЧК. В связи с этим во многих работах ([2, 3, 9, 16] и мн. др.) Балтика рассматривается как источник сноса, поэтому в палеотектонических реконструкциях фрагменты микроплиты стали размещаться вблизи Балтики.

Мы предлагаем иную интерпретацию с “локальным” источником (или источниками) сноса, которыми были гренвильский и неопротерозойские комплексы Арктиды. Локальные поднятия возникали в эпохи гренвильского, неопротерозойского, каледонского и элсмирского орогенеза. Например, Центральная зона о. Врангеля представляла собой поднятие, в котором неопротерозойский фундамент несогласно перекрыт верхним карбоном [14]. При такой интерпретации нет необходимости транспортировать обломочный материал из Балтики на расстояния более 2000 км через осадочные бассейны Баренции.

Геодинамическая обстановка формирования неопротерозойских гранитоидов не всегда очевидна. По химическому и минеральному составу неопротерозойские гранитоиды имеют сходство с гранитами S- и I-типа. Неодимовые изотопные данные указывают на смешанный характер протолита, в котором присутствовал более древний коровый материал, а также добавка мантийного.

На о. Врангеля, Чукотке, Чукотском бордерленде и Аляске гранитоиды вместе с метаморфизованными вулканогенно-осадочными образованиями формировались в островодужной обстановке (табл. 1). Кроме того, выделяются гранитоиды, габброиды и контрастная ассоциация вулканитов кислого и основного состава, образовавшиеся при рифтогенезе. Как правило, они внедрялись на завершающих этапах формирования неопротерозойского орогенеза: 600–590 млн лет на о. Врангеля [5] и 565 млн лет на п-ове Сьюард [2].

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет гранта РФФИ-Арктика № 18–05–70061, базовое финансирование сотрудников за счет субсидии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pease V., Drachev S., Stephenson R., Zhang X.* Arctic Lithosphere: A Review // Tectonophysics. 2014. V. 628. P. 1–25.

2. *Amato J.M., Aleinikoff J.N., Akinin V.V., McClelland W.C., Toro J.* Age, Chemistry, and Correlations of Neoproterozoic-Devonian Igneous Rocks of the Arctic Alaska-Chukotka Terrane: An Overview with New U–Pb Ages / Dumolin J.A., Till A.B. (eds.). Reconstruction of Late Proterozoic to Devonian Continental Margin Sequence, Northern Alaska, Its Paleogeograhic Significance, and Contained Base-Metal Sulfide Deposits // Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. 2014. V. 506. P. 29–57.

3. *Gottlieb E.S., Pease V., Miller E.L., Akinin V.V.* Neoproterozoic Basement History of Wrangel Island and Arctic Chukotka: Integrated Insights from Zircon U–Pb, O and Hf Isotopic Studies / Pease V., Coakley B. (eds.). Circum-Arctic Lithosphere Evolution // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2017. V. 460. https://doi.org/10.1144/SP460.11

4. *Косько М.К., Авдюничев В.В., Ганелин В.Г., Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сесил М.П., Смирнов А.Н., Ушаков В.И., Хандожко Н.В., Харрисон Дж.К., Шульга Ю.Д.* Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология. Т. 200. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2003. 137 с.

5. *Лучицкая М.В., Моисеев А.В., Соколов С.Д., Тучкова М.И., Сергеев С.А., О'Салливан П.Б., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А.* Окраинно-континентальные и внутриплитные позднепротерозойские граниты и риолиты острова Врангеля // Геотектоника. 2017. № 1. С. 19–43.

6. *Brumley K., Miller E.L., Konstantinou A., Grove M., Meisling K., Mayer L.A.* First Bedrock Samples Dredged from Submarine Outcrops in the Chukchi Borderland, Arctic Ocean // Geosphere. 2015. V. 11. № 1.

7. *Akinin V.V., Gottlieb E.S., Miller E.L., Polzunenkov G.O., Stolbov N.M., Sobolev N.N.* Age and Composition of Basement beneath the De Long Archipelago, Arctic Russia, Based on Zircon U–Pb Geochronology and O–Hf Isotopic Systematics from Crustal Xenoliths in Basalts of Zhokhov Island // Arctos. 2015. https://doi.org/10.1007/s41063-015-0016-6

8. *Кораго Е.А., Верниковский В.А., Соболев Н.Н., Ларионов А.Н., Сергеев С.А., Столбов Н.М., Проскурнин В.Ф., Соболев П.С., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Травин А.В.* Возраст фундамента островов Де Лонга (архипелаг Новосибирские острова): новые геохронологические данные // ДАН. 2014. Т. 457. № 3. С. 315–322.

9. *Ershova V.B., Lorenz H., Prokopiev A.V., Sobolev N.N., Khudoley A.K., Petrov E.O., Estrada S., Sergeev S., Larionov A., Thomsen T.B.* // Gondwana Research. 2016. V. 35. P. 305–322.

10. *Морозов А.Ф., Петров О.В., Шокальский С.П., Кашубин С.Н., Кременецкий А.А., Шкатов М.Ю., Каминский В.Д., Гусев Е.А., Грикуров Г.Э., Рекант П.В., Шевченко С.С., Сергеев С.А., Шатов В.В.* Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения, 2013. № 53. С. 34–55.

11. *Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Корнийчук А.В.* Новые данные о геологическом строении юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // ДАН. 2017. Т. 476. №. 2. С. 190–196.

12. *Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A., O'Reilly S.Y., Griffin W.L.* // Geochronological, Geochemical and Isotopic Study of Detrital Zircon Suites from Late Neoproterozoic Clastic Strata along the NE Margin of the East European Craton: Implications for Plate Tectonic Models // Gondwana Research. 2010. V. 17. P. 583–601.

13. *Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю.* Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика, 2013. Т. 54. № 8. С. 1083–1107.

14. *Соколов С.Д., Тучкова М.И., Моисеев А.В., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Гущина М.Ю.* Тектоническая зональность о-ва Врангеля (Арктика) // Геотектоника. 2017. № 1. С. 3–18.

15. *Prokopiev A.V., Ershova V.B., Anfinson O., Stockli D., Powell J., Khudoley A.K., Vasiliev D.A., Sobolev N.N., Petrov E.O.* Tectonics of New Siberian Islands Archipelago: Structural Styles and Low-temperature Thermochronology // Journal of Geodynamics. 2018. V. 121. P. 155–184.

16. *Miller E.L., Meisling K.E., Akinin V.V., Brumley K., Coakley B.J., Gottlieb E.S., Hoiland C.W., O'Brien T.M., Soboleva A., Toro J.* Circum-Arctic Lithosphere Evolution (CALE) Transect C: Displacement of the Arctic Alaska-Chukotka Microplate towards the Pacific during Opening of the Amerasia Basin of the Arctic / Pease V., Coakley B. (eds.). Circum-Arctic Lithosphere Evolution // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2018. V. 460. https://doi.org/10.1144/SP460.9.

TECTONIC STRUCTURE AND GEODYNAMIC SETTING OF NEOPROTEROZOIC GRANITOID MAGMATISM OF EASTERN ARCTIC

Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov[a], M. V. Luchitskaya[a,#], and A. V. Moiseev[a]

[a] *Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: luchitskaya@ginras.ru*

Correlation of Neoproterozoic granitoid magmatism of New Siberian islands, Wrangel Island, Chukotka, Chukchi Borderland and Northern Alaska indicate unity of Arctic Alaska – Chukotka microplate basement and continental crust formation during Timanian (Baikalian) orogeny. Age of inherited cores of zircons and Nd model age of granitoids point out Meso- and rarely Paleoproterozoic crust in the formation of epi-Grenvillian Arctida continent. In modern structure Timanides extended from TimanianRange through Polar Urals and Taimyr to Chukotka and Northern Alaska, framing margins of Baltica, Siberia and North America continents. It is suggested that geodynamic setting of Neoproterozoic granitoids for most of microplate is supra-subduction continental arc, rarely rifting at the late stages of Timanian orogeny. The origin of Grenvillian and Neoproterozoic-Timanian polulation of detrite and inherited zircons is explained by local sources.

Keywords: tectonics, geodynamics, granitoid magmatism, geochronology, zircon, East Arctic