

УДК 552.11:552.323.6

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ПИКРОБАЗАЛЬТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ФУНДАМЕНТА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

В. А. Симонов<sup>1,2</sup>, член-корреспондент РАН В. А. Конторович<sup>2,3</sup>,  
С. И. Ступаков<sup>1,\*</sup>, Ю. Ф. Филиппов<sup>3,\*\*</sup>, С. В. Сараев<sup>3</sup>, А. В. Котляров<sup>1</sup>

Поступило 20.12.2018 г.

Проведённые исследования с помощью  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -анализа показали одновременность образования (около 490 млн лет) палеозойских пикритовых и базальтовых комплексов фундамента Западно-Сибирской плиты. Данные по петрохимии, геохимии редких и редкоземельных элементов, а также по составам клинопироксена свидетельствуют о формировании пикритов скважины № 11 Чкаловской площади в результате действия внутриплитного магматизма океанических островов — ОИВ. Расчёты на основе составов клинопироксена говорят о значительных параметрах кристаллизации минералов пикритовых порфиритов: 1215–1275 °С, 4,5–8 кбар. В целом установлено, что рассмотренные пикробазальтовые комплексы формировались при участии обогащённых плюмовых магматических систем во внутриплитных условиях древнего океана вблизи его активной окраины.

*Ключевые слова:* пикритовые порфириты, фундамент Западно-Сибирской плиты, внутриплитный океанический магматизм.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524865577-582>

Базальтовые ассоциации широко представлены в фундаменте Западно-Сибирской плиты. Наибольшим вниманием пользуются серии пород пермотриасового возраста [1–4 и др.], формирование которых происходило благодаря масштабным проявлениям платобазальтового магматизма в Западной Сибири и на Сибирской платформе. Более древние базальты, принадлежащие к структурам, связанным с развитием палеоокеанов, рассмотрены в гораздо меньшей степени [5–7 и др.], а данные по палеозойским пикробазальтовым комплексам в фундаменте Западной Сибири весьма редки. В частности, есть информация о находке пикритовых порфиритов на юго-востоке Западно-Сибирской плиты, сходных с пикритами Маймеча-Котуйского района Сибирской платформы [8]. В целом для фундамента Западно-Сибирской плиты отмечается присутствие

пород ультраосновного состава, представленных серпентинитами, меймечитами и пикритовыми порфиритами [9].

Ультрабазиты были изучены нами в разрезе скважины № 11 Чкаловской площади, пробуренной в 1982 году. В скважине (рис. 1) вскрыт следующий разрез палеозоя (снизу вверх): пикриты (видимая мощность более 60 м); тёмно-серые, чёрные тонко-, мелкозернистые известняки (35 м); тёмно-серые, чёрные мелкозернистые доломиты (около 15 м). Выше залегает переотложенная мезозойская кора выветривания, развитая по палеозойским породам.

Проведённые исследования образцов ультраосновных и основных пород, отобранных из керна скважин на Чкаловской площади, позволили получить новые данные об особенностях формирования палеозойских магматических базит-гипербазитовых комплексов фундамента Западно-Сибирской плиты. Пробы пород были проанализированы в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН и в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований (Новосибирск). Возраст выяснен с помощью  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -метода на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы Микромасс (Англия). Валовые составы пород установлены на рентгеновском спектрометре ARL-9900-XP фирмы “Thermo Electron Corporation”.

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск

<sup>2</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

<sup>3</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск

\*E-mail: [stupakov@igm.nsc.ru](mailto:stupakov@igm.nsc.ru)

\*\*E-mail: [PhilippovYF@ipgg.nsc.ru](mailto:PhilippovYF@ipgg.nsc.ru)

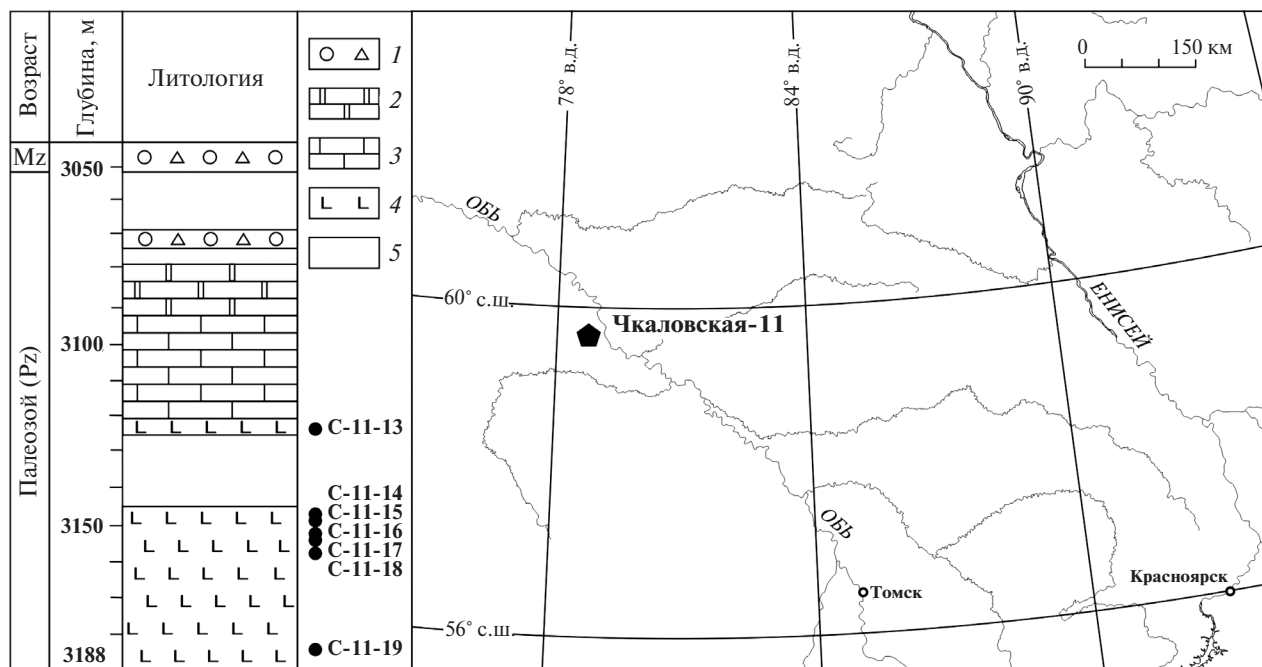


Рис. 1. Геологический разрез по скважине Чкаловская 11 и её положение: 1 — конгломерато-брекчии; 2 — доломиты; 3 — известняки; 4 — пикриты; 5 — керн отсутствует.

Содержания редких и редкоземельных элементов определены методом ICP–MS на масс-спектрометре Finnigan Element. Анализы минералов выполнены на рентгеновском микроанализаторе “Camebax-Micro”.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -анализ методом ступенчатого прогрева ультрабазитов из керна скважины № 11 показал основное плато с возрастом  $494,9 \pm 10,5$  млн лет, практически совпадающее с  $\text{Ar}/\text{Ar}$ -данными по базальтам этого региона (скважина № 7) —  $485,6 \pm 4,2$  млн лет [7]. В возрастных  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -спектрах ультрабазитов присутствуют также плато с возрастными около 400 млн лет и 220 млн лет, свидетельствующие об этапах вторичных изменений. Реальность процессов преобразования магматических комплексов Чкаловской площади в установленные временные промежутки подтверждается наличием отчётливого плато  $210,5 \pm 2,2$  млн лет в  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -спектре базальтов скважины № 7.

Петрографический анализ показал, что рассмотренные ультрабазиты из скважины № 11 близки к изменённым пикритовым порфиритам с практически полностью замещёнными амфиболами и хлоритами вкрапленниками клинопироксена, располагающимися в основной хлоритизированной мелкозернистой массе (рис. 2).

Петрохимические исследования показали, что большинство пород подверглись значительному воздействию вторичных процессов, что подтверждает результаты изучения шлифов. Об этом свидетельствуют высокие значения потерь при прокаливании для ультраосновных пород — 7–12 мас.%. По соотношению  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$  эти породы относятся к ультраосновным пикробазальтам нормальной щёлочности. Учитывая высокие содержания  $\text{MgO}$  до 25–27 мас.%, они явно соответ-

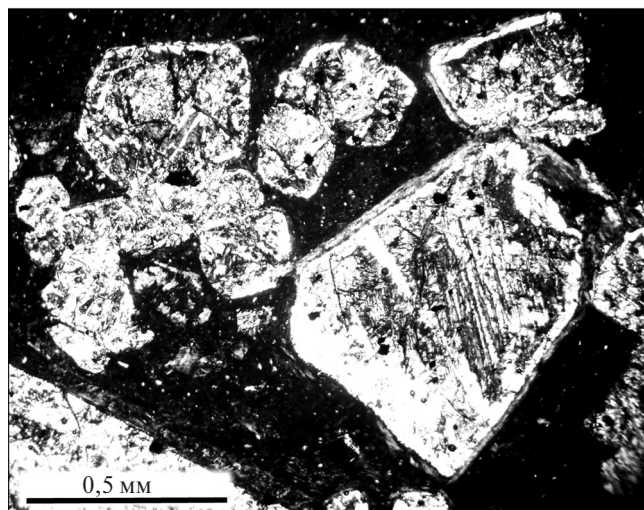
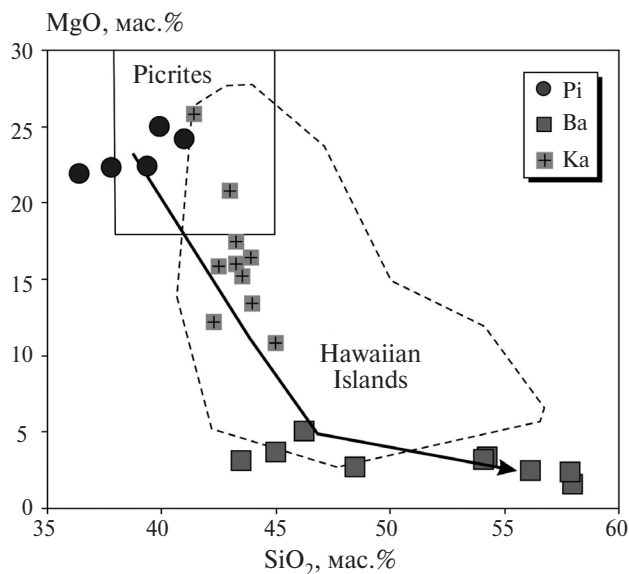


Рис. 2. Фотография шлифа пикритовых порфиритов Чкаловской площади. Николи скрещены.

**Таблица 1.** Представительные анализы пикритовых порфиритов Чкаловской площади, Западная Сибирь

	С-11-15	С-11-16	С-11-17	С-11-18	С-11-19
SiO <sub>2</sub>	41,00	39,36	37,80	36,40	39,92
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,90	0,99	0,64	0,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,90	8,78	9,00	6,19	6,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,38	15,92	16,32	13,37	15,41
MnO	0,15	0,16	0,16	0,20	0,15
MgO	24,14	22,42	22,26	21,86	24,97
CaO	2,56	3,17	3,33	8,02	2,37
Na <sub>2</sub> O	0,61	0,77	0,71	0,44	0,50
K <sub>2</sub> O	0,17	0,15	0,11	0,09	0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,10	0,10	0,08	0,08
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	0,20	0,21	0,19	0,21
NiO	0,12	0,11	0,12	0,09	0,12
П.п.п.	6,94	7,41	7,87	11,93	7,54
Сумма	99,08	99,44	99,00	99,51	99,05
Rb	2,9	2,2	2,2	1,79	2,9
Sr	148	307	248	265	134
Y	10,0	9,7	10,5	9,5	8,9
Zr	40	39	47	33	35
Nb	6,1	6,2	7,3	4,8	5,3
Cs	0,67	0,71	1,05	0,60	0,67
Ba	69	104	89	204	78
La	4,5	5,0	5,2	5,1	4,3
Ce	9,8	10,3	11,3	10,2	8,8
Pr	1,36	1,39	1,53	1,33	1,16
Nd	5,6	5,7	6,3	5,5	5,0
Sm	1,50	1,63	1,66	1,44	1,38
Eu	0,49	0,55	0,58	0,51	0,43
Gd	1,82	1,83	1,80	1,75	1,63
Tb	0,31	0,30	0,30	0,29	0,27
Dy	1,85	1,79	1,91	1,67	1,64
Ho	0,38	0,37	0,36	0,33	0,33
Er	1,00	1,01	1,05	0,87	0,81
Tm	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12
Yb	0,95	0,95	0,93	0,75	0,72
Lu	0,14	0,13	0,13	0,11	0,11
Hf	1,00	1,07	1,19	0,94	0,86
Ta	0,36	0,39	0,42	0,30	0,36
Th	0,63	0,63	0,82	0,53	0,56
U	0,20	0,20	0,23	0,13	0,16

Примечание. Основные химические компоненты — мас.%. Микроэлементы — ppm.



**Рис. 3.** Диаграмма  $\text{SiO}_2$ – $\text{MgO}$  для пород пикробазальтового комплекса Чкаловской площади. Pi — пикриты скважины № 11. Ba — базальты скважины № 7. Ka — породы пикробазальтового комплекса гайота Кастор. Тихий океан. Поля: Picrites — пикриты; Hawaiian Islands — породы Гавайских островов. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [7, 10–12].

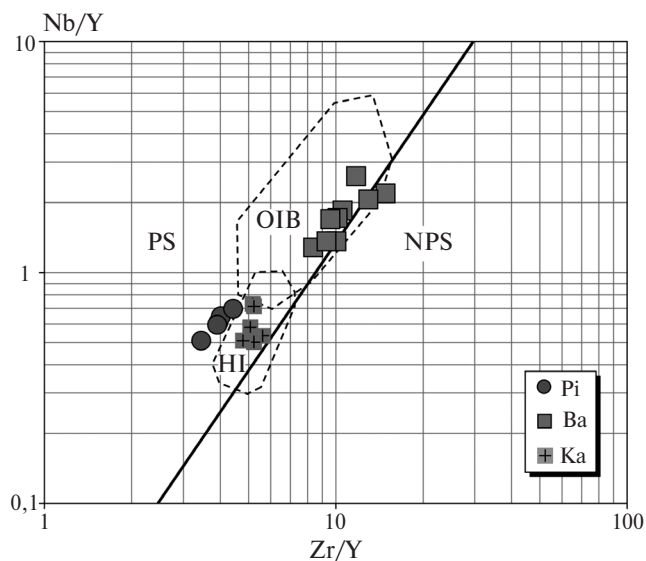
ствуют пикритам. На диаграмме  $\text{MgO}$  —  $\text{SiO}_2$  (рис. 3) составы ультрабазитов располагаются в поле пикритов и тесно ассоциируют с данными по пикробазальтовому комплексу Гавайских островов и гайота Кастор (Тихий океан). В общем, намечается эволюция магматизма Чкаловской площади от пикритов к базальтам и далее к андезибазальтам, тренд которой проходит через поля пикробазальтовых комплексов Гавайских островов и гайота Кастор. По соотношению  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{FeO}/\text{MgO}$  точки ультрабазитов скважины № 11 располагаются на тренде пироксеновых кумулятов, тесно ассоциируются с трендом оливиновых кумулятов и перекрываются с данными по пикритам гайота Кастор. В целом, согласно петрографическим характеристикам и петрохимическому составу, рассмотренные ультрабазиты являются пикритовыми порфиридами.

Данные по редким элементам, устойчивым при вторичных процессах (Zr, Nb, Y, Th), свидетельствуют о плюмовом источнике для пикритовых порфиридов скважины № 11. В частности, на диаграмме  $\text{Nb}/\text{Y}$ – $\text{Zr}/\text{Y}$  (рис. 4) точки составов порфиридов располагаются в области магматизма с плюмовым источником в непосредственной близости к базальтам океанических островов (типа OIB), к пикритам Гавайских островов и к расплавленным включениям в оливине из пикритов гайота Кастор. По соотно-

шению  $\text{Zr}/\text{Nb}$ – $\text{Nb}/\text{Th}$  они находятся в области OIB. Распределения редкоземельных элементов в пикритовых порфиридах близки к спектрам пикритов и базальтов Гавайских островов, представляющих эталон магматизма OIB.

Анализ клинопироксенов из пикритовых порфиридов скважины № 11 показал, что благодаря высокому содержанию титана (до 2 мас.%), при умеренной железистости ( $\text{FeO}$  6,5–7 мас.%) они совпадают с данными по минералам из базальтов типа OIB Гавайских островов. Согласно соотношениям  $\text{Al}$ – $\text{Mg}\#$  и  $\text{Ti}$ – $\text{Al}$ , все данные по клинопироксенам из порфиридов полностью располагаются в полях пироксенов из OIB Гавайских островов. Расчёты по программе WinPLtb (Clinopyroxene-Liquid Thermobarometry) [14] с учётом составов клинопироксенов и пикритовых порфиридов свидетельствуют о существенных параметрах магматических систем: 1215–1275 °C и 4,5–8 кбар.

Благодаря повышенному (4–5 мас.%) содержанию титана большинство изученных амфиболов из пикритовых порфиридов соответствует керсутитам. На основе минералогических термобарометров [15] удалось оценить параметры процессов кристаллизации амфиболов: 1020–1110 °C и 4,5–6,6 кбар.



**Рис. 4.** Диаграмма  $\text{Zr}/\text{Y}$ – $\text{Nb}/\text{Y}$  для пород пикробазальтового комплекса Чкаловской площади. Pi — пикриты скважины № 11. Ba — базальты скважины № 7. Ka — расплавленные включения в оливине из пород пикробазальтового комплекса гайота Кастор. Поля: OIB — базальты внутриплитных океанических островов; HI — пикриты Гавайских островов. Области магматизма с плюмовым источником (PS) и без плюмового источника (NPS). Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [7, 10, 12, 13].

Таким образом,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  анализ свидетельствует об одновременном формировании (около 490 млн лет) палеозойских пикритовых и базальтовых комплексов фундамента Западно-Сибирской плиты. Петрохимические исследования показали сходство рассмотренных пикритовых порфириров Чкаловской площади с пикритами гайота Кастор и Гавайских островов (Тихий океан). Данные по геохимии редких элементов говорят о плюмовом источнике для этих порфириров. Характер распределения редкоземельных элементов в пикритовых порфиритах близок к спектрам пикритов Гавайских островов, являющихся эталоном магматизма ОИВ. Таким образом, петрохимические и геохимические исследования уверенно свидетельствуют о формировании пикритов Чкаловской площади в результате действия обогащённого внутриплитного плюмового магматизма океанических островов — ОИВ. Этот вывод подтверждается данными по клинопироксенам, составы которых соответствуют пироксенам из ОИВ Гавайских островов и говорят о значительных параметрах кристаллизации минералов пикритов Чкаловской площади: 1215–1275 °С, 4,5–8 кбар.

В целом, учитывая сходство с данными по гайоту Кастор, располагающемуся рядом с островной дугой на современной активной окраине Тихого океана [10], выводы о формировании пикритовых порфириров скважины № 11 хорошо согласуются с опубликованными ранее результатами петролого-геохимических и изотопных исследований, свидетельствующими о развитии палеозойских базальтовых комплексов Чкаловской площади в палеогеодинамических условиях активной окраины древнего океана [7].

**Источники финансирования.** Работа выполнена в рамках государственных заданий ИГМ СО РАН (проект № 0330–2016–0014) и ИНГГ СО РАН, при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Курда Н.П., Батурина Т.П. // Докл. РАН. 1998. Т. 362. № 3. С. 372–377.
2. Бочкарев В.С., Брехунцов А.М., Дещеня Н.П. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1/2. С. 120–143.
3. Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Курда Н.П. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 1/2. С. 86–100.
4. Симонов В.А., Клец А.Г., Ковязин С.В., Ступаков С.И., Травин А.В. Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 9. С. 1277–1291.
5. Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф., Федоров Ю.Н., Ерохин Ю.В. // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 4. С. 484–501.
6. Сараев С.В., Батурина Т.П., Пономарчук В.А., Травин А.В. // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 1. С. 4–20.
7. Симонов В.А., Ступаков С.И., Ковешников А.Е. // Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 149–151.
8. Кузоватов Н.И., Татьяна Г.М., Саев В.И. // Актуальные вопр. геологии Сибири. 1988. Т. 1. С. 129–130.
9. Кузоватов Н.И., Саев В.И., Татьяна Г.М. // Геология и экология. 1996. Т. 1. С. 88–98.
10. Симонов В.А., Ковязин С.В., Колобов В.Ю. // ДАН. 2004. Т. 398. № 4. С. 529–532.
11. Петрографический кодекс России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 194 с.
12. GEOROC <http://georoc.mpch-mainz.gwdg.de/georoc/>
13. Condie K.C. // Lithos. 2005. V. 79. P. 491–504.
14. Yavuz F., Yildirim D.K. // Periodico di Mineralogia. 2018. V. 87. P. 149–172.
15. Ridolfi F., Renzulli A. // Contribs. Mineral. and Petrol. 2012. V. 163. P. 877–895.

**CONDITIONS OF FORMATION OF PALEOZOIC PICRITE  
BASALT COMPLEXES OF THE BASEMENT  
OF THE WESTERN SIBERIAN PLATE**

**V. A. Simonov<sup>1,2</sup>, Corresponding Member of RAS V. A. Kontorovich<sup>2,3</sup>,  
S. I. Stupakov<sup>1</sup>, Yu. F. Filippov<sup>2,3</sup>, S. V. Saraev<sup>2,3</sup>, A. V. Kotlyarov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

*<sup>2</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

*<sup>3</sup>Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russian Federation*

Received December 20, 2018

The carried out researches with the help of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis have shown a coincidence of formation (about 490 million years) of Paleozoic picrite and basalt complexes of the basement of the Western Siberian Plate. The data on petrochemistry, geochemistry of rare and rare-earth elements, and also on compositions of clinopyroxenes, testifies to formation of picrites of borehole № 11 (Chkalovsky area) as a result of action of intra plate magmatic systems of oceanic islands — OIB. Calculations on the basis of clinopyroxene compositions speak about considerable parameters of crystallization of picrite porphyrite minerals: 1215–1275 °C, 4.5–8 кбар. As a whole, it is established that considered picrite basalt complexes were formed with the assistance of enriched plume magmatic systems in intra plate conditions of ancient ocean near to its active margin.

*Keywords:* picrite porphyrites, basement of the Western Siberian Plate, intra plate oceanic magmatic systems.