

- netitovykh rud po dannym spektroskopii [Exploring a possibility to determine titanium magnetite ores mineral composition by spectroscopy data]. *Obogashchenie rud* [Mineral Processing Journal], 2017, no. 5, pp. 28–36. DOI: 10.17580/or.2017.05.05. (In Russian)
3. Lyutov V.P., Gongal'skii B.I., Makeev A.B., Lysyuk A.Yu., Magazina L.O., Taskaev V.I. Titanomagnetitovye rudy: mineral'nyi sostav i messbauerovskaya spektroskopiya [Titanomagnetite ores: mineral composition and Mössbauer spectroscopy]. *Mineralogiya* [Mineralogy], 2017, no. 2, pp. 43–65. (In Russian)
 4. Makeev A.B. Tipomorfnye osobennosti mineralov titanovykh rud Pizhenskogo mestorozhdeniya [Typomorphic features of minerals of titanium ores from the Pizhenskoe deposit]. *Mineralogiya* [Mineralogy], 2016, no. 1, pp. 24–49. (In Russian)
 5. Makeev A.B., Lebedev V.A., Bryanchaninova N.I. *Magmatity Srednego Timana* [Magmatites of Middle Timan]. *Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN* [Publishing House of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2008, 348 p. (In Russian)
 6. Makeev A.B., Lyutov V.P. Spektroskopiya v tekhnologicheskoi mineralogii. Mineral'nyi sostav kontsentratsionnykh titanovykh rud Pizhenskogo mestorozhdeniya (Srednii Timan) [Spectroscopy in process mineralogy. The Pizhenskoe deposit titanium ores concentrates mineral composition]. *Obogashchenie rud* [Mineral Processing Journal], 2015, no. 5, pp. 33–41, DOI: 10.17580/or.2015.05.06. (In Russian)
 7. Simakova Yu.S., Lyutov V.P., Lysyuk A.Yu. Kristalloghimicheskie osobennosti glaukonita Karinskogo mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural) [Crystal-chemical features of glauconite from Karinskoe deposit (South Urals)]. *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2019, no. 3 (291), pp. 41–50, DOI: 10.19110/2221-1381-2019-03-41-50. (In Russian)
 8. De Grave E., Van Alboom A. Evaluation of ferrous and ferric Mössbauer fractions. *Physics and Chemistry of Minerals*, 1991, vol. 18, pp. 337–342.
 9. Eeckhout S.G., De Grave E. Evaluation of ferrous and ferric Mössbauer fractions. Part II. *Physics and Chemistry of Minerals*, 2003, vol. 30, pp. 142–146.
 10. Grey I.E., Reid A.F. The structure of pseudorutile and its role in natural alteration of ilmenite. *American Mineralogist*, 1975, vol. 60, pp. 898–906.
 11. Grey I.E., Watts J.A., Bayliss P. Mineralogical nomenclature: pseudorutile revalidated and neotype given. *Mineralogical Magazine*, 1994, vol. 58, pp. 597–600.
 12. Guo W.Q., Malus S., Ryan D.H., Altounian Z. Crystal structure and cation distributions in the FeTi_2O_5 — Fe_2TiO_5 solid solution series. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 1999, vol. 11, pp. 6337–6346.
 13. Horn M., Schwerdtfeger C.F. EPR of substitutional and charge compensated Fe^{3+} in anatase (TiO_2). *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1971, vol. 32, pp. 2529–2538.
 14. Lichtenberger G.J., Addison J.R. F- and X-band spectroscopy of Fe^{3+} in rutile. *Physical Review*, 1969, vol. 184, no. 2, pp. 381–382.
 15. Lyutov V.P., Makeev A.B., Lysyuk A.Yu. Application of Mössbauer, ESR, and FTIR spectroscopy for mineralogical and technological research of titanium ores. In: *Votyakov S., Kiseleva D., Grokhovsky V., Shchapova Y. (eds) Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2020, pp. 121–127. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00925-0_19.*
 16. McConchie D.M., Ward J.B., McCann V.H., Lewis D.W. A Mössbauer investigation of glauconite and its geological significance. *Clays and Clay Minerals*, 1979, vol. 27, no. 5, pp. 339–348.
 17. Saensunon B., Stewart G.A., Pax R. A combined ^{57}Fe -Mössbauer and X-ray diffraction study of the ilmenite reduction process in a commercial rotary kiln. *International Journal of Mineral Processing*, 2008, vol. 86, pp. 26–32.
 18. Stoll S., Schweiger A. EasySpin, a comprehensive software package for spectral simulation and analysis in EPR. *Journal of Magnetic Resonance*, 2006, vol. 178(1), pp. 42–55.
 19. Vandenberghe R.E., De Grave E. Application of Mössbauer Spectroscopy in Earth Sciences. In: *Yutaka Yoshida and Guido Langouche (eds) Mössbauer Spectroscopy. Tutorial Book. Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2013, pp. 91–186. DOI: 10.1007/978-3-642-32220-4.

УДК 552.312.5. 552.322.8. 552.321.5

КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫЙ КОМПЛЕКС ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ДАЕК ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А.В. РЯЗАНЦЕВ¹, И.А. НОВИКОВ², А.А. РАЗУМОВСКИЙ¹

¹Геологический институт РАН
7, Пыжевский пер. г. Москва 119017, Россия
email: avryazan51@mail.ru

²Научно-исследовательский институт глазных болезней
11А, Россолимо, Москва 119021, Россия
email: i.novikov@niigb.ru

На западе аллохтона Магнитогорской зоны, надвинутого на докембрий зоны Уралтау, девонские островодужные комплексы стратиграфически залегают на ордовикских и силурийских кремнисто-базальтовых комплексах и серпентинитовом меланже. Меланж и ордовикская толща прорваны роями даек и пакетами «дайка в дайке», которые сложены породами основного и ультраосновного составов. Преобладают дайки габбро-долеритов, амфиболовых с калиевым полевым шпатом габбро, горнблендитов, пикритов, лампрофиров. Ультраосновные дайки по составу отвечают пикритам и коматиитам. По магматическому амфиболу из габбро $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст комплекса 357 ± 8 млн. лет. Формирование даек связано с раннекаменноугольным этапом рифтогенного магматизма на активной континентальной окраине.

Ключевые слова: комплекс параллельных даек; Урал; пикриты; габбро-долериты; горнблендиты; лампрофиры; коматииты; монзониты; активная континентальная окраина; рифтогенез; карбон; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-3-42-50

CARBONIFEROUS CONTINENTAL MARGIN MAFIC-ULTRAMAFIC SHEETED DYKE COMPLEX IN THE WEST MAGNITOGORSK ZONE (SOUTHERN URALS)

A.V. RYAZANTSEV¹, I.A. NOVIKOV², A.A. RAZUMOVSKIY¹

¹Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky street, Moscow 119017, Russia
e-mail: avryazan51@mail.ru

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS (IGEM RAS)
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia,
e-mail: i.novikov@niigb.ru

In the West of the allochthon of Magnitogorsk zone thrust onto the Precambrian complexes of the Uraltau zone, the Devonian island-arc complexes overlap stratigraphically the Ordovician and Silurian chert-basalt sequences and serpentine melange. Melange and Ordovician strata are intruded by dyke swarms and sheeted dykes («dyke in dyke») which are composed of mafic and ultramafic rocks. The dykes, composed by gabbro-dolerite, amphibole K-feldspar gabbro, hornblendite, picrite and lamprophyre, predominate. The composition of the ultramafic rocks corresponds to the composition of picrite and komatiite. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of the magmatic amphibole from gabbro is 357 ± 8 m.y. The formation of dykes is related to the Early Carboniferous rift-related magmatism on an active continental margin.

Keywords: sheeted dyke complex; Urals; picrite; gabbro-dolerite; lamprophyre; hornblendite; komatiite; monzonite; active continental margin; rifting; Carboniferous; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age.

На Южном Урале вблизи зоны Главного Уральско-го разлома на западе Магнитогорской синформы ордовикский кремнисто-базальтовый комплекс и серпентинитовый меланж прорываются роями даек и пакетами «дайка в дайке», которые сложены породами основного и ультраосновного составов. С дайками связано медное и золотое оруденение. Ранее дайковый и кремнисто-базальтовый комплексы объединялись в офиолитовую ассоциацию, при этом дайковый комплекс рассматривался как индикатор ордовикского спрединга [8, 9, 11]. В результате проведенных исследований установлено, что дайковый комплекс имеет каменноугольный возраст, а состав его пород не типичен для спрединговых комплексов.

Методы аналитических исследований

Содержания петрогенных оксидов определены методом рентгено-спектрального флуоресцентного анализа в Лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН, редких и рассеянных элементов — методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в АСИЦ ИПТМ РАН (г. Черноголовка) и в ГИН РАН. Изучение химического состава минеральных индивидов и агрегатов проводили в Институте глазных болезней РАН (г. Москва) с помощью сканирующего электронного микроскопа Zeiss EVO LS 10 (Zeiss, Германия) с энергодисперсионным спектрометром Oxford X-MAX 50 (Oxford, Великобритания), оснащённым кремний-дрейфовым детектором. Определения возраста $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом проводились А.В. Травиным в Лаборатории изотопно-аналитических методов в Институте геологии и минералогии СО РАН в Новосибирске.

Результаты и обсуждение

На юге Урала Главный уральский разлом (ГУР) разделяет структуры палеоконтинентального сектора на западе и палеоокеанического сектора на востоке (рис. 1). В палеоконтинентальном секторе в Западно-Уральской и Центрально-Уральской мегазонах распространены выступы докембрия, перекрытого чехлами палеозойских терригенно-карбонатных и кремнисто-терригенных толщ. В палеоокеаническом секторе (Магнитогорская мегазона (синформа)) распространены комплексы, сформированные в зоне перехода от континента к океану, представленные офиолитами, девонскими островодужными комплексами, граувакками, а на верхнем структурном уровне располагаются рифтогенные каменноугольные вулканы.

На западе Магнитогорской синформы в ядрах антиформ вместе с серпентинитовым меланжем залегает кремнисто-базальтовый комплекс (поляковская свита), возраст которого по конодонтам охватывает стратиграфический интервал от нижнего ордовика (фло) до верхнего ордовика включительно. Здесь же распространены фрагменты дергайшской свиты нижнего силура (базальты, углеродистые сланцы) и сакмарской свиты нижнего силура—нижнего девона (лохков), сложенной углеродистыми сланцами и кремнями [8, 9]. Ордовикские и силурийско-нижнедевонские толщи несогласно перекрыты девонскими островодужными вулканогенными породами. Палеозойские толщи прорваны интрузиями ранне—среднекаменноугольного балбукского комплекса монцодиоритов, сиенитов и лейкогранитов. Породы этого комплекса и метасоматиты экзоконтактов (листвениты) являются источниками коренного и россыпного золота в этом районе.

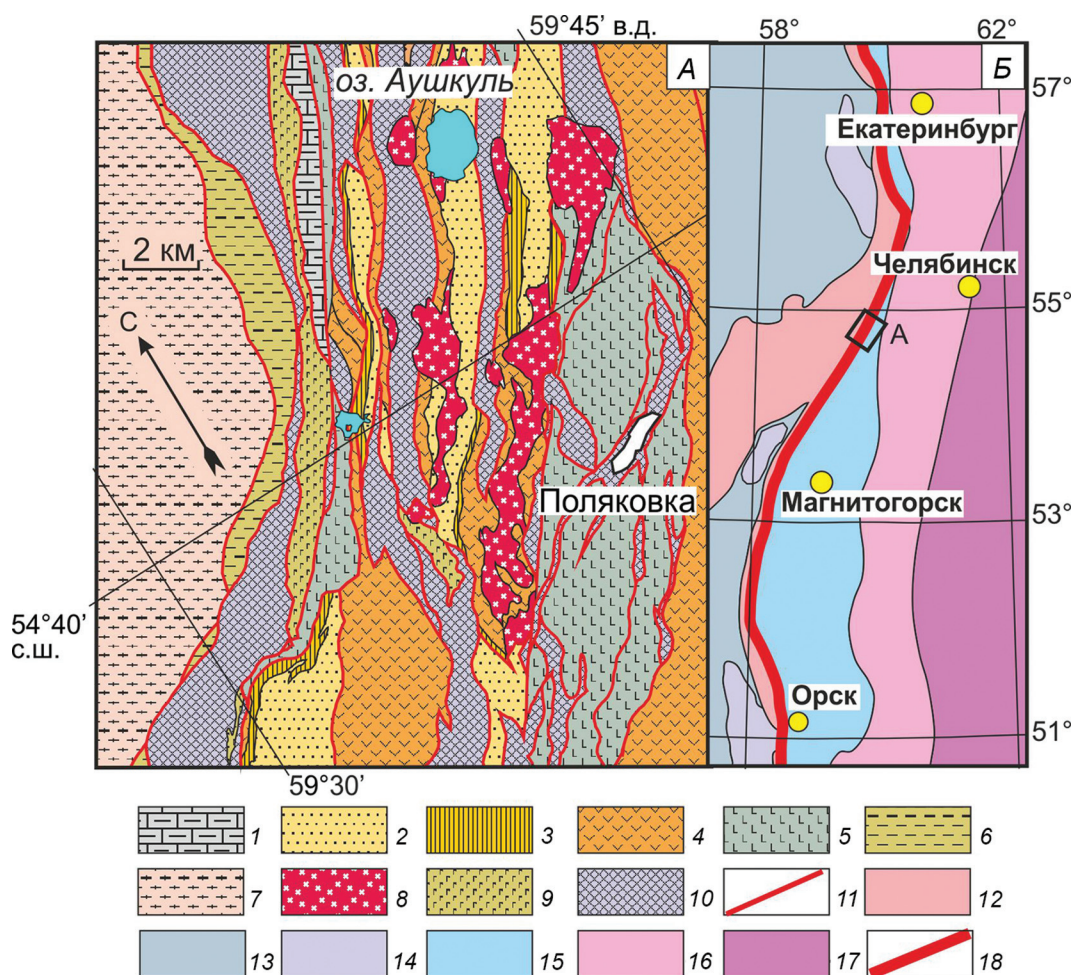


Рис. 1. Геолого-структурная схема зоны ГУР и Западно-Магнитогорской зоны (составлено с использованием данных [4]): 1 – кизильская свита, нижний–средний карбон, известняки, песчаники, алевролиты; 2 – зилайская свита, фаменский ярус, песчаники, алевролиты, туффиты; 3 – мукасовская свита, франкийский ярус, кремни; 4 – толщи вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, известняков нижнего-верхнего девона; 5 – толщи вулканогенных и кремнистых пород ордовика и силура; 6 – суавнянский комплекс, нижний и средний палеозой, кремни, алевролиты, на уровне среднего девона базальты; 7 – рифейские толщи кварцито-сланцев, кварцитов, доломитов; 8 – балбукский комплекс, ранний–средний карбон, монцодиориты, сиениты, лейкограниты; 9 – нуралинский комплекс, ранний девон, габбро, габбро-диориты, гранодиориты; 10 – массивы офиолитов и серпентинитовый меланж; 11 – тектонические контакты; На врезке (Б): 12 – комплексы докембрийского фундамента Западно-Уральской и Центрально-Уральской мегазон; 13 – палеозойские комплексы терригенно-карбонатного чехла Восточно-Европейской платформы, флиш и молассы Предуральского краевого прогиба; 14 – комплексы краевых аллохтонов; 15 – Тагило-Магнитогорская мегазона; 16 – Восточно-Уральская мегазона; 17 – Зауральская мегазона; 18 – Главный уральский разлом. Прямоугольником показано положение на рис. А

Поляковская свита и серпентинитовый меланж прорываются роями даек и пакетами «дайка в дайке» (рис. 2). В дайковом комплексе (для него предложено название «краснохтинский») преобладают дайки габбро-долеритов, амфиболовых габбро, горнблендитов, пикритов, лампрофиров. Дайки конформны структуре кремнисто-базальтового комплекса и меланжа. Пакеты, состоящие из нескольких однозакальных даек, в средней части прорваны двузакальными дайками (рис. 3). Мощность даек 0,1–2 м. В центре пакетов, как правило, преобладают существенно амфиболовые разности пород, которые неоднородны по составу. Здесь наблюдаются постепенные переходы между меланократовыми и мезократовыми габбро, горнблендитами, меланократовыми лампрофирами. В центре даек

обособляются сегрегации размером 10–20 см лейкократовых вогезитов, имеющих постепенный переход от меланократовых разностей. Серпентиниты на экзоконтактах даек родингитизированы и в них наблюдаются скопления кристаллов везувиана. С дайками и вмещающими породами связано медно-порфировое оруденение прожилково-вкрапленного типа (отработанное Поляковское месторождение) и золоторудные проявления [4].

Дайки краснохтинского комплекса сложены порфировыми породами с первично стекловатой основной массой и полнокристаллическими разностями. Пикриты содержат фенокристаллы серпентинизированного оливина, клинопироксена, редко амфибола и хромшпинелида. Основная масса сложена нематобластовым агрегатом тремолита

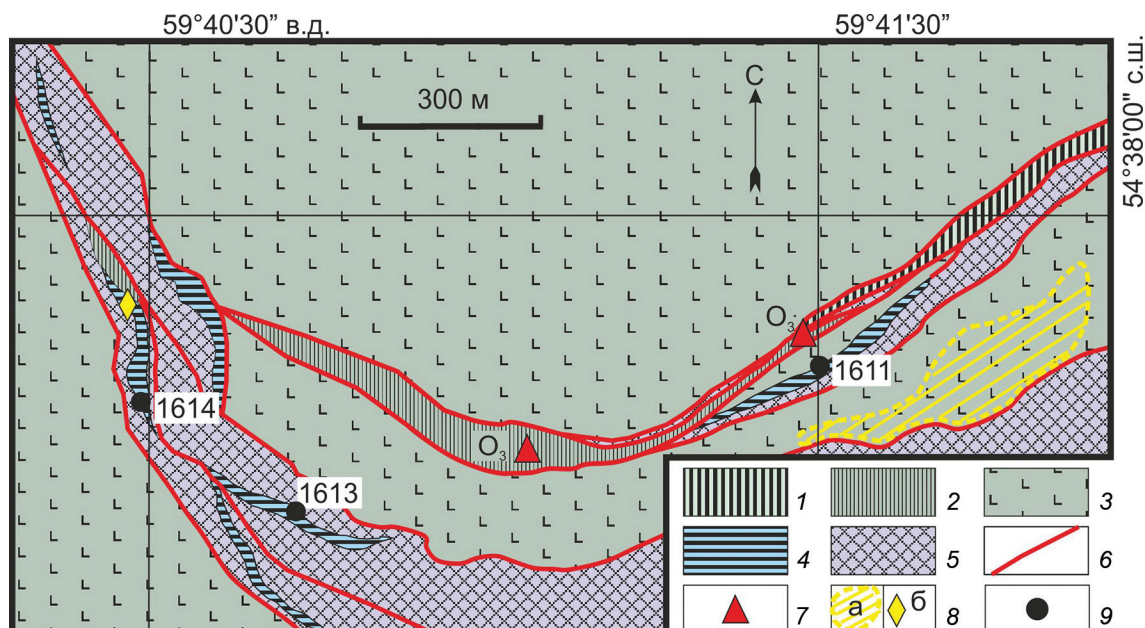


Рис. 2. Схема геологического строения участка распространения краснохтинского дайкового комплекса к северу от с. Поляковка: 1 — сакмарская свита (нижний—верхний силур), углеродистые сланцы и кремни; 2—3 — поляковская свита (нижний — верхний ордовик): 2 — кремни, 3 — подушечные базальты, гиалокластиты, кремни; 4 — краснохтинский дайковый комплекс (ранний карбон), габбро, габбро-долериты, лампрофиры, горнблендиты, пикриты; 5 — серпентиниты; 6 — тектонические контакты; 7 — точки находок конодонтов и их возраст; 8 — площади меднопорфирового (а) и точка золотого (б) оруденения, связанных с дайками; 9 — точки детальных разрезов дайкового комплекса, показанных на рис. 3

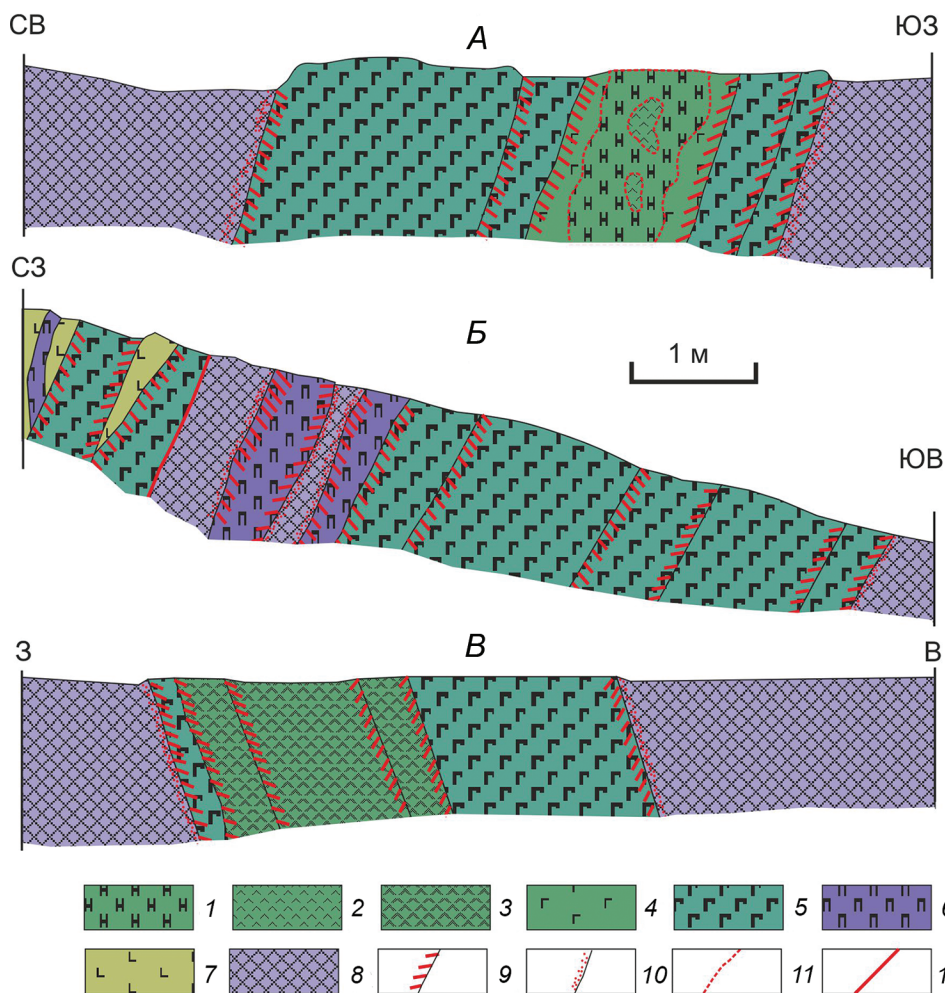


Рис. 3. Схематические разрезы краснохтинского дайкового комплекса к северу от с. Поляковка; А — район точки 1613, Б — район точки 1611, В — район точки 1614 (рис. 2): 1 — амфиболовые габбро, горнблендиты, амфиболовые лампрофиры; 2 — вогезиты; 3 — спессартиты; 4 — амфиболовые габбро; 5 — клинопироксен-амфиболовые габбро, габбро-долериты; 6 — пикриты; 7 — поляковская свита (ордовик), подушечные базальты; 8 — серпентиниты; 9 — закальные эндоконтакты даек; 10 — родингиты на экзоконтакте даек; 11 — контакты с постепенными переходами; 12 — тектонические контакты

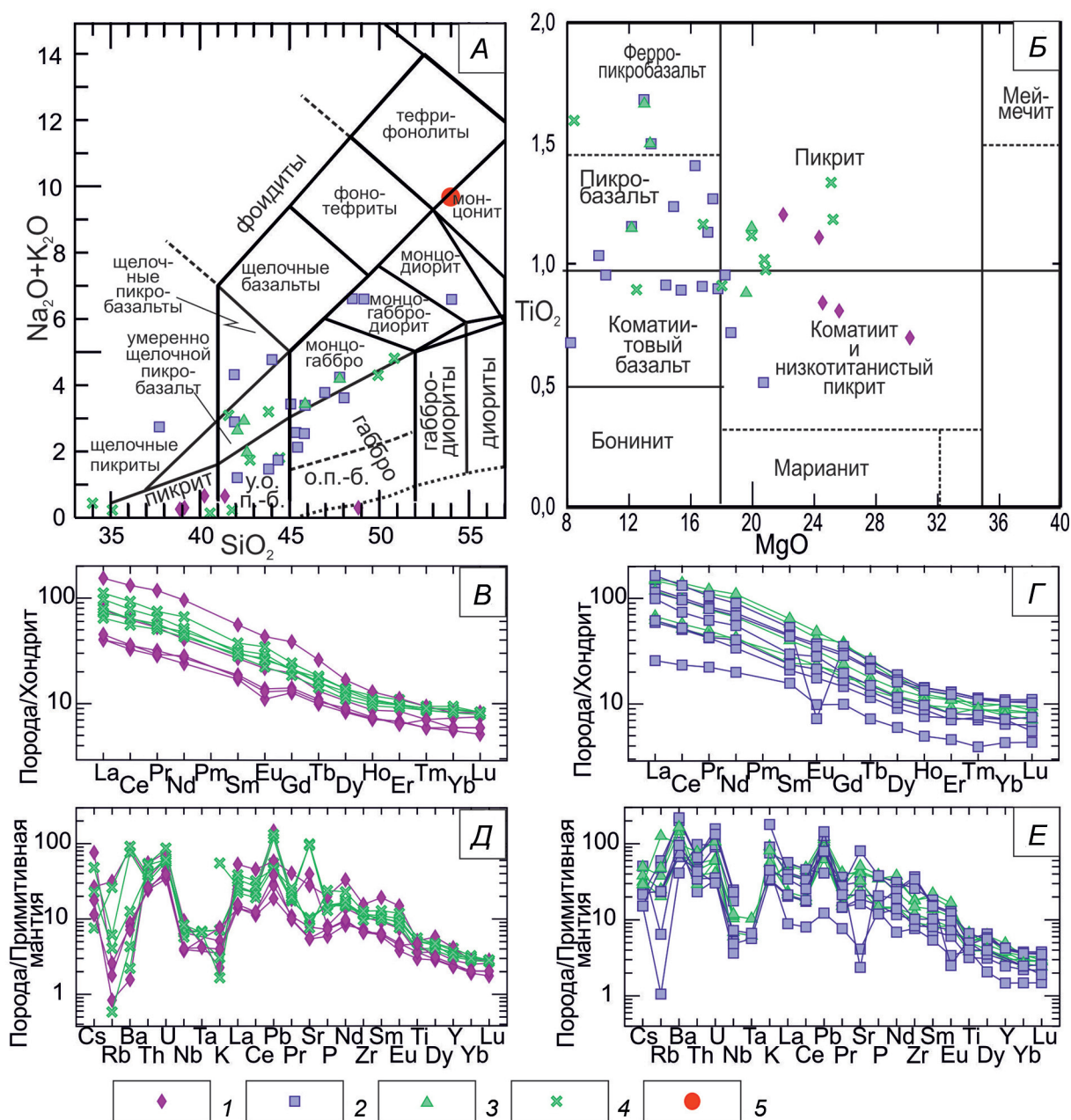


Рис. 4. Геохимические диаграммы для пород краснохитинского комплекса: А – $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (TAS [7, 14]), сокращения: у.о. п.-б. – ультраосновной пикробазальт, о.п.-б. – основной пикробазальт; Б – TiO_2-MgO , по [5]; В, Г – хондрит-нормализованные спектры РЗЭ, по [17]; Д, Е – спайдер-диаграммы элементов-примесей, нормированных к примитивной мантии по [17]: 1 – пикриты; 2 – амфиболовые габбро, вогезиты, горнблендиты; 3 – амфибол-порфировые габбро-долериты; 4 – спессартиты; 5 – лейкократовые вогезиты

и хлорита, имеющих вторичное происхождение. Лампрофиры представлены двумя разновидностями: вогеzitами и спессартитами. В вогеzitах вытянутые фенокристаллы амфибола погружены в основную массу, состоящую из ортоклаза и хлорита, а в спессартитах в основной массе преобладает хлорит. Амфиболовые габбро – полнокристаллические породы, сложенные идиоморфными кристаллами бурого, по краям зелёного амфибола, аллотриоморфными зёрнами калиевого полевого шпата и редкими идиоморфными выделениями клинопироксена. В горнблендитах содержание амфибола достигает 90%. Амфиболы габбро и горнблендитов имеют

пойкилитовую структуру, в них включены мелкие кристаллы клинопироксена и серпентинизированного ортопироксена или оливина. В габброидах содержится много зёрен апатита призматического и игольчатого габитусов. Клинопироксены пикритов и амфиболовых габбро по составу отвечают авгиту (преобладает) и диопсиду. Амфибол габбро, спессартитов и горнблендитов представлен магнезиогастингситом. Шпинелиды горнблендитов на классификационной диаграмме $\text{Al}^{3+}-\text{Cr}^{3+}-\text{Fe}^{3+}$ [6] располагаются в поле субальюмоферрихромитов. Хлориты горнблендитов по составу отвечают кеммерит-пеннину или Cr-клинохлору.

Химический состав пород краснохтинского дайкового комплекса

Номера проб	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	39,1	48,8	34,0	35,1	41,4	45,4	49,2	42,4	41,8	44,4	41,9	38,9	42,6
TiO ₂	0,6	0,8	1,1	1,2	1,02	0,7	1,0	1,5	0,9	0,9	1,4	1,2	1,1
Al ₂ O ₃	9,6	4,4	12,8	12,7	11,3	10,5	14,6	13,6	12,3	13,0	13,4	11,8	10,9
Fe ₂ O ₃	2,9	3,2	4,6	5,7	1,8	3,9	2,1	5,6	2,8	4,4	5,5	3,0	3,8
FeO	5,4	3,9	7,5	7,5	5,4	5,7	6,3	4,7	6,0	4,9	4,5	6,5	6,0
MnO	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
MgO	27,9	24,8	23,1	22,8	22,4	18,0	7,4	13,0	17,5	12,1	12,9	20,5	19,2
CaO	6,4	10,7	8,6	5,3	8,0	10,0	7,5	12,9	14,1	14,7	12,7	10,9	10,0
K ₂ O	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	1,0	5,4	2,8	0,1	1,7	2,7	0,1	1,1
Na ₂ O	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	1,1	1,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,9
P ₂ O ₅	0,1	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3	0,4	0,8	0,3	0,3	0,8	0,4	0,8
ппп	6,9	2,3	6,5	8,3	7,1	2,5	4,1	2,0	3,3	2,6	3,3	5,8	2,9
Сумм.	99,4	99, 6	99,2	99,5	99,3	99,4	99,3	99,5	99,4	99,4	99,5	99,3	99,3
V	165	208	280	230	166	174	244	208	200	213	250	210	199
Cr	577	814	781	1070	609	1197	461	133	610	701	408	911	893
Co	40	45	64,3	60,9	42,5	57	42	25	49,4	38	37	64,4	57,6
Ni	539	331	340	442	409	470	172	71	350,1	195	136	626,1	431
Ga	12,0	15,2	16,1	13,2	12,7	13,6	16,5	16,7	14,5	20,3	17,4	13,6	12,1
Rb	1,6	20	2,6	<2	<2	14,9	38	80	0,4	16,6	31	0,5	15,9
Sr	115	833	206	161	117	399	665	1068	2002	2084	1697	586,8	846
Y	10,6	12,9	18,5	н.о.	н.о.	11,2	19,4	17,2	16,5	14,3	19,3	18,9	22,2
Zr	82	118	129	142	74,2	111	411	166	108,8	132	383	174,5	200
Nb	2,8	4,7	5,0	5,9	2,9	3,7	17,6	8,4	6,0	4,1	16,5	6,8	8,0
Cs	0,6	0,2	0,2	н.о.	н.о.	0,2	0,2	0,2	<0,03	0,1	0,1	0,1	0,3
Ba	56	581	88,0	15,5	49,9	471	1405	1490	30,1	641	1532	10,9	505
La	9,6	18,4	17,2	26,4	10,7	14	29	28	23,0	18,8	27	36,6	36,3
Ce	20	38	39,7	57	22	31	62	59	47,8	39	59	80,6	85,5
Pr	2,7	5,0	5,1	7,1	2,8	4,0	7,9	7,4	6,3	5,4	7,6	11,2	11,5
Nd	11,2	19	22,5	31	13,2	15,8	34	31	24,1	21	32	44,7	51,2
Sm	2,6	4,1	4,9	5,7	2,7	3,2	6,9	6,1	4,7	4,3	6,7	8,5	9,8
Eu	0,6	1,3	1,7	2	0,8	1,0	2,2	1,9	1,5	1,3	2,0	2,5	2,8
Gd	2,6	4,0	4,3	5,0	2,7	3,0	6,2	4,9	4,5	3,8	5,9	7,9	7,4
Tb	0,4	0,5	0,7	0,7	0,4	0,4	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	1,0	1,0
Dy	2,1	2,7	3,5	3,5	2,3	2,3	4,3	3,5	3,0	2,8	4,1	4,3	4,6
Ho	0,40	0,5	0,7	0,6	0,4	0,4	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,8
Er	1,13	1,4	1,8	1,6	1,1	1,2	2,1	1,8	1,6	1,5	2,0	1,9	2,0
Tm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,18	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Yb	1,1	1,2	1,6	1,5	1	1,1	1,9	1,7	1,4	1,40	1,8	1,4	1,7
Lu	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,2	0,3	0,2	0,2	0,21	0,26	0,2	0,2
Hf	2,0	2,8	3,8	3,7	2,1	2,7	11,4	4,1	3,1	3,2	10,5	4,9	5,9
Ta	н.о.	н.о.	0,3	0,3	0,2	н.о.	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	0,4
Pb	1,3	10,4	3,9	3,3	2,7	7,6	5,6	8,1	9,4	8,3	9,0	4,2	8,7
Th	2,1	2,9	3,5	4,4	2,2	3,9	5,5	6,6	4,6	3,22	5,6	4,7	4,7
U	0,9	1,3	1,2	1,3	0,8	1,9	3,3	2,2	1,8	1,4	2,8	1,6	1,3

Примечание. 1 – пикриты; 2 – пикробазальты; 3–5 – спессартиты; 6–7 – вогезиты; 8–11 – габбро; 12 – тремолитизированные габбро-долериты; 13 – габбро-долериты; оксиды, мас. %, микроэлементы, г/т, н.о. – не определялось.

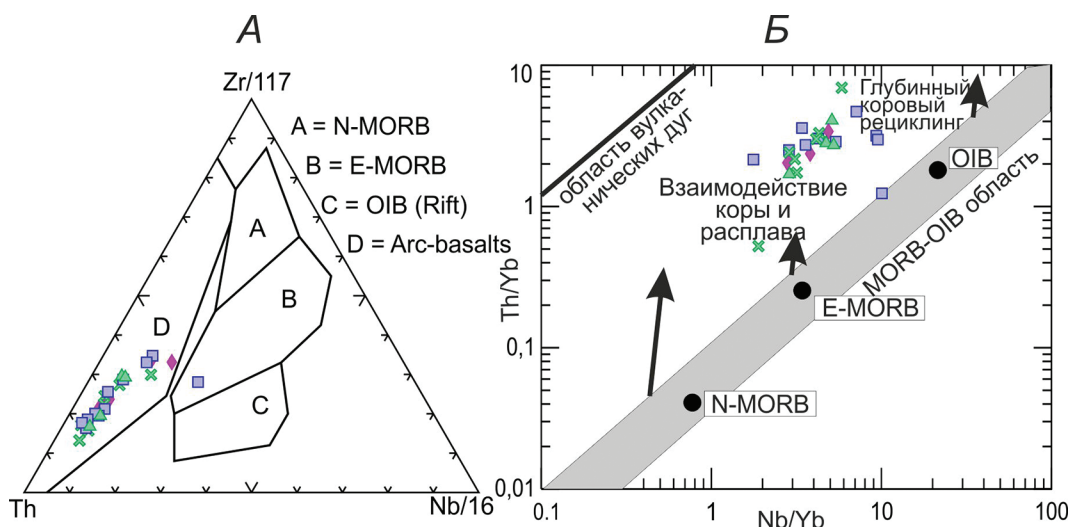


Рис. 5 Диаграммы Th-Zr/117-Nb/16, по [18], и Th/Yb - Nb/Yb, по [15], для пород краснохтинского дайкового комплекса; условн. обознач. см. рис. 4.

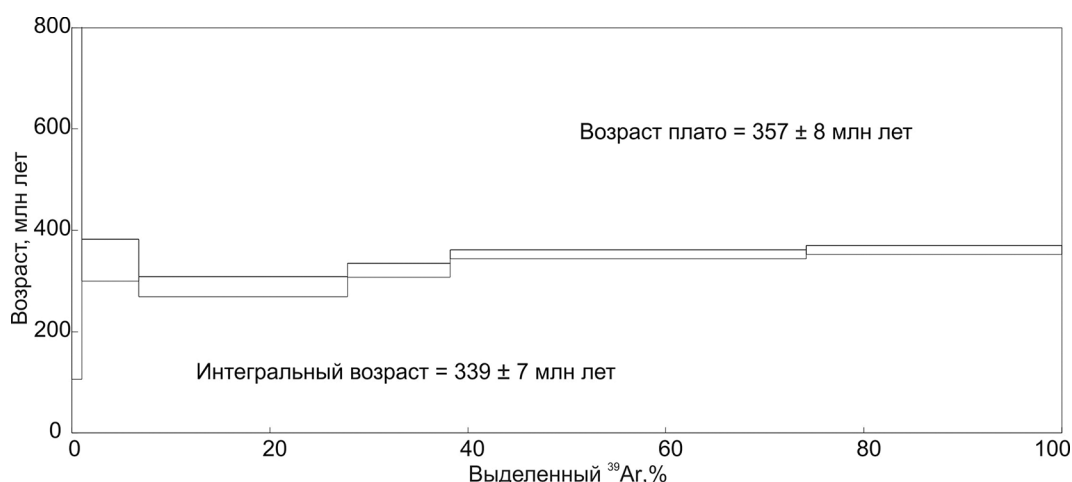


Рис. 6. Возрастные спектры для амфиболов из амфиболовых габбро краснохтинского комплекса по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ анализа

По петрохимической классификации породы краснохтинского комплекса отвечают пикритам, умеренно-щелочным пикритам, пикробазальтам, габбро, монцогаббро, монцо-габбродиоритам, монцодиоритам и монцонитам (рис. 4, А). $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ варьирует от 0,1 в амфиболовых габбро и спессартитах до 16,4 в калиевошпатовых амфиболовых габбро. В сегрегациях среди амфиболовых габбро и горнблендитов обособляются лейкократовые вогезиты, состав которых отвечает монцонитам, с $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ — 39,6. Состав высокомагнезиальных ($\text{MgO} > 16\%$) пород с учётом содержаний TiO_2 варьирует от коматиитов и низкотитанистых пикритов до пикритов, коматиитовых базальтов и пикробазальтов (рис. 4, Б). Часть амфиболовых габбро, горнблендитов и спессартитов являются высококальциевыми породами с $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$.

Для амфиболовых калиевошпатовых габбро и вогезитов типичны высокие до 2084 г/т содержания Sr. В пробах 12 и 13 (таблица) отмечаются повышенные содержания РЗЭ. Породы имеют фракционированный характер распределения редкоземельных элементов, $(\text{La}/\text{Yb})_n$ варьирует от 3,9 до 19. Спайдер-диаграммы для всех разностей демонстрируют яркий Ta-Nb минимум (рис. 4), который связан с надсубдукционным генезисом пород (рис. 5), а также с коровой контаминацией, значительный вклад которой демонстрирует диаграмма Th/Yb—Nb/Yb (см. рис. 5). Некоторые горнблендиты и лампрофиры отличаются повышенными содержаниями MgO, Cr, а по распределению элементов, дефициту K и LILE на спайдер-диаграммах имеют сходство с пикритами и, возможно, представляют продукт их метасоматического изменения. По ха-

рактору распределения редкоземельных и рассеянных элементов можно предположить, что породы разных групп в дайковом комплексе образованы в результате эволюции единого расплава.

Определения возраста комплекса было проведено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по бурому амфиболу из габбро, отобранному в точке 1631 (рис. 2) с координатами $54^{\circ}37'44,9''$ с.ш., $59^{\circ}40'40,7''$ в.д. Получено плато с возрастом 357 ± 8 млн. лет (рис. 6). Это значение соответствует раннему карбону (турнейский ярус), а с учётом доверительного интервала, возможно, и части фаменского века позднего девона.

Краснохтинский комплекс, согласно полученным данным, связан с каменноугольным этапом эволюции магматизма. Его возраст близок к времени формирования расположенных поблизости интрузий балбукского ранне—среднекаменноугольного комплекса, представленного монцодиоритами, сиенитами и лейкогранитами [1, 2, 4] (рис. 1). Эти два комплекса сближают присутствие таких разностей как монцодиориты и монцониты, а также связанная с обоими комплексами золотоносность. Присутствие лампрофиров в краснохтинском комплексе подтверждает данные о том, что лампрофиры, как правило, ассоциируют с золотоносными комплексами [16], широко распространёнными в данном районе.

В карбоне продолжала развиваться живущая с позднего девона активная континентальная окраи-

на Балтики. В её развитии большую роль играл раннекаменноугольный рифтогенный магматизм с формированием базальт-риолитовых толщ, коагматичных габбро-гранитных интрузий и базитовых даек [13]. Краснохтинский комплекс коррелируется с комплексом параллельных долеритовых даек Прииргизья (Зауральская мегазона), который связан с рифтогенными каменноугольными вулканогенными толщами [3]. Мафитовые и мафит-ультрамафитовые каменноугольные дайковые комплексы и малые интрузии широко распространены в центральной части Магнитогорской синформы [10].

Закключение

Полученные данные о составе и раннекаменноугольном возрасте краснохтинского комплекса свидетельствуют о том, что он не относится к ордовикским офиолитам. Дайки связаны с формированием каменноугольных интрузий балбукского комплекса, сложенных монцодиоритами, сиенитами и лейкогранитами. Образование краснохтинского комплекса происходило в раннем карбоне в обстановке растяжения при рифтогенном магматизме в тыловой части активной континентальной окраины.

Работа выполнена в соответствии с планами фундаментальных исследований ГИН РАН (государственное задание 0135-2019-0048).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горюжанин В.М. Первичный изотопный состав строения в магматических комплексах Южного Урала // Магматизм и геодинамика / Под ред. В.А. Коротеева. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. С. 98–108.
2. Знаменский С.Е., Холоднов В.В., Даниленко С.А. Rb-Sr данные по околорудным метасоматитам месторождения золота Малый Каран (Южный Урал) // Геологический сборник № 11. Информационные материалы ИГ УНЦ РАН / Под ред. В.Н. Пучкова. Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 202–205.
3. Иванов С.Н., Семенов И.В., Червяковский Г.Ф. Рифтогенез предконтинентальной стадии развития Урала // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274. № 2. С. 387–391.
4. Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И., Жданов В.А., Каримов Т.Р., Айдаров З.М., Масагутов Р.Х., Арсланова З.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000. Сер. Уральская. Лист N-40-Уфа. 3-е поколение. Объяснительная записка. СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.
5. Куликов В.С., Куликова В.В., Бычкова Я.В. О классификации ультраосновных-основных высокомагнетических вулканитов нормальной и низкой щелочности (новый взгляд на примере Фенноскандии) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Научное издание. Вып. 15 / Под ред. А.И. Голубева и В.В. Щипцова. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2012. С. 38–44.
6. Павлов Н.В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // Тр. Ин-та геол. наук. Сер. Руд. месторожд. Вып. 103 № 3 / Под ред. И.Ф. Григорьева и Г.А. Соколова. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 88 с.
7. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / Ред. О.А. Богатиков, А.Ф. Морозов, О.В. Петров. СПб: ВСЕГЕИ, 2009. 196 с.
8. Рязанцев А.В., Белова А.А., Разумовский А.А., Кузнецов Н.Б. Геодинамические обстановки формирования ордовикских и девонских дайковых комплексов из офиолитовых разрезов Южного Урала и Мугоджар // Геотектоника, 2012. № 2. С. 65–96.
9. Рязанцев А.В., Дубинина С.В., Кузнецов Н.Б., Белова А.А. Ордовикские структурно-формационные комплексы в аллохтонах Южного Урала // Геотектоника. 2008. № 5. С. 49–78.
10. Салихов Д.Н., Холоднов В.В., Осипова Т.А., Рахимов И.Р. Каменноугольно-пермский магматизм и связанное с ним оруденение (Магнитогорская и Восточно-Уральская мегазоны Южного Урала) // Литосфера. 2016. № 5. С. 35–57.
11. Семенов И.В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров Уральского палеозойского океана. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. 362 с.
12. Тевелев Ал.В., Тихомиров П.Л., Дегтярев К.Е., Кошелева И.А., Мосейчук В.М., Правикова Н.В., Сурин Т.Н. Геодинамические обстановки формирования каменноугольных вулканических комплексов Южного Урала и Зауралья // Очерки по региональной тектонике. Т. 1. Южный Урал. Тр. ГИН РАН, вып. 561 / Под ред. С.В. Руженцева и К.Е. Дегтярева. М.: Наука, 2005. С. 213–247.
13. Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.
14. Шарпенко Л.Н., Костин А.Е., Кухаренко Е.А. TAS-диаграмма сумма щелочей — кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения. 2013. № 56. С. 40–50.
15. Pearce J.A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // Lithos. 2008. Vol. 100. P. 14–48.
16. Rock N.M.S., Groves, D., Perring C., Golding S. Gold, lamprophyres, and porphyries: What does their association mean? // Economic Geology Monograph. 1989. N 6. P. 609–625.

17. Sun S.S. and McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. // *Magmatism in the ocean basins* / Ed. A.D Saunders & M.J. Norry. Geological Society of London. London, Special Publications. 1989. Vol. 42. P. 313–345.
 18. Wood D.A. The application of a Th–Hf–Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province // *Earth and Planetary Science Letters*. 1980. Vol. 50. P. 11–30.
- REFERENCES
1. Gorozhanin V.M. Primary isotopic composition of strontium in magmatic complexes of the southern Urals. *Magmatism and geodynamics* / Eds. V.A. Koroteev. Ekaterinburg, IGG UB RAS Publ., 1998, pp. 98–108. (in Russian).
 2. Znamensky S.E., Holodnov V.V., Danilenko S.A. [Rb–Sr data on the wall-rock alteration of the gold deposit Maly Karan (the Southern Urals)]. *Geological collected articles No. 11. Information materials IG UFRS RAS* / Eds. V.N. Puchkov, Ufa, DesignPress Publ., 2014, pp. 202–205. (in Russian).
 3. Ivanov C.N., Semyonov I.V., Chervyakovsky G.F. Rifting of the pre-continental stage of development of the Urals. *DAN USSR*, 1984, Vol. 274, no 2, pp. 387–391. (in Russian).
 4. Knyazev Yu.G., Knyazeva O.Yu., Snachev V.I., Zhdanov V.A., Karimov T.R., Masagutov R.H., Arslanova Z.R. *State geological map of the Russian Federation. 1:1 000 000. The Ural Series. Sheet N-40-Ufa. The 3rd generation. Explanatory memorandum*. St. Petersburg, Cart. factory VSEGEI Publ., 2013, 512 p. (in Russian).
 5. Kulikov V.S., Kulikova V.V., Bychkova Ya.V. On the classification of ultramafic-mafic high-Mg normal-and low-alkali volcanics: a new approach with examples from Fennoscandia. *Geology and useful minerals of Karelia*. Iss. 15 / Eds. A.I. Golubev and V.V. Shiptsov. Petrozavodsk, KarRC RAS Inst. of geology Publ., 2012, pp. 38–44. (in Russian).
 6. Pavlov N.V. Chemical composition of chrome spinel in connection with the petrographic composition of rocks of ultrabasic intrusions. *Proc. of the Inst. of Geology. The ore deposit ser.* Iss. 103. N 3 / Eds. I.F. Grigoryev and G.A. Sokolov. M., Acad. Sci. USSR Publ., 1949, 88 p. (in Russian).
 7. *Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations* / Eds. O.A. Bogatkov, A.F. Morozov., O.V. Petrov. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2012, 196 p. (in Russian).
 8. Ryazantsev A.V., Belova A.A., Razumovsky A.A., Kuznetsov N.B. Geodynamic formation settings of Ordovician and Devonian dike complexes in ophiolitic sections of the Southern Urals and Mugodzhary. *Geotectonics*, 2012, vol. 46, no. 2, pp. 142–169 (in Russian).
 9. Ryazantsev A.V., Dubinina S.V., Kuznetsov N.B., Belova A.A. Ordovician lithotectonic complexes in allochthons of the Southern Urals, *Geotectonics*, 2008, vol. 42, no 5, pp. 368–395. (in Russian)
 10. Salikhov D.N., Holodnov V.V., Osipova T.A., Rakhimov I.R. Carboniferous-Permian magmatism and associated mineralization (Magnitogorsk and East Uralian megazones Southern Urals). *Lithosfera*, 2016, no 5, pp. 35–57. (in Russian).
 11. Semyonov I.V. *The Urals paleoceanic spreading volcanism and the reconstruction of the Urals pleozoic ocean parameters*. Ekaterinburg, IGG UB RAS Publ., 2000, 362 p. (in Russian).
 12. Tevelev A.V., Degtyarev K.E., Tikhomirov P.L., Kosheleva I.A., Kosarev A.M., Moseichuk V.M., Pravikova N.V., Surin T.N. Geodynamic settings of the Carboniferous volcanic complexes of the Southern Urals and Zauralie. *Essays on the regional tectonics. Vol. 1. Southern Urals*. Proc. of the Geological Inst, vol. 561 / Eds. S.V. Ruzhentsev and K.E. Degtyarev. M., Nauka Publ., 2005, pp. 213–247. (in Russian)
 13. Fershtater G.B.: *Paleozoic Intrusive Magmatism of the Middle and South Urals*. Ekaterinburg, RIO UB RAS Publ., 2013, 368 p. (in Russian)
 14. Sharpenok L.N., Kostin A.E., Kukharensko E.A. TAS — the Total Alkali — Silica Diagram for chemical classification and diagnosis of plutonic rocks. *Regional Geology and metallogeny*, 2013, no 56, pp. 40–50. (in Russian)
 15. Pearce J.A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 2008, vol. 100, pp. 14–48.
 16. Rock N.M.S., Groves, D., Perring C., Golding S. Gold, lamprophyres, and porphyries: What does their association mean? *Economic Geology Monograph*. 1989, no 6, pp. 609–625.
 17. Sun S.S. and McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the ocean basins* / Ed. A.D Saunders & M.J. Norry. Geological Society of London. London, Special Publications, 1989, vol. 42, pp. 313–345.
 18. Wood D.A. The application of a Th–Hf–Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, 1980, vol. 50, pp. 11–30.