

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH SCIENCES

УДК 552.321.5:550.41 (476)
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-6-755-760>

Поступило в редакцию 28.08.2019
Received 28.08.2019

М. П. Гуринович

Институт геологии, Минск, Республика Беларусь

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОД РУСИНОВСКОГО КОМПЛЕКСА
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА БЕЛАРУСИ**

(Представлено членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом)

Аннотация. Определены условия формирования ультрабазит-базитовых пород русиновского комплекса кристаллического фундамента Беларуси на основе петролого-геохимических данных. Показано, что породы русиновского комплекса разделяются на две петрохимические серии: магнезиальную и титано-железистую. Особенности редкоэлементного состава пород указывают на расплавление и переработку первоначального состава магмы, а также ее коровую контаминацию. По условиям формирования породы комплекса близки к островодужным образованиям.

Ключевые слова: кристаллический фундамент, русиновский комплекс, ультрабазит-базиты, условия формирования

Для цитирования: Гуринович, М. П. Условия формирования пород русиновского комплекса кристаллического фундамента Беларуси / М. П. Гуринович // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 6. – С. 755–760. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-6-755-760>

Marina P. Hurynovich

Institute for Geology, Minsk, Republic of Belarus

**FORMATION CONDITIONS OF THE ROCKS FROM THE RUSINOVSKY COMPLEX
OF THE CRYSTALLINE BASEMENT OF BELARUS**

(Communicated by Corresponding Member Romma Ye. Aizberg)

Abstract. Based on the petrological and geochemical data, the formation conditions of the ultrabasic-basic rocks of the Rusinovsky complex of the crystalline basement of Belarus are determined. It is shown that the rocks of the Rusinovsky complex are divided into two petrochemical series: magnesian and titanium-ferruginous. The peculiarities of the rare-element rock composition indicate the melting and processing of the original composition of magma, and its crust contamination. According to the formation conditions of the rock, the complex is close to island-arc formations.

Keywords: crystalline basement, rusinovsky complex, ultrabasic-basites, formation conditions

For citation: Hurynovich M. P. Formation conditions of the rocks from the Rusinovsky complex of the crystalline basement of Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 6, pp. 755–760 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-6-755-760>

Введение. Русиновский магматический комплекс выделен в Центрально-Белорусской структурной зоне кристаллического фундамента Беларуси, где представлен ультрабазит-базитовыми породами (троктолиты, габбронориты, габбро оливиновое и амфиболизированное, габбро-амфиболиты, актинолититы, диабазы и амфиболиты аподиабазовые), слагающими дайки, согласные силловые залежи и небольшие субизометричные массивы [1]. Возрастное положение пород русиновского комплекса точно не установлено, согласно стратиграфической схеме докембрийских и фанеразойских отложений Беларуси 2010 г. он отнесен к нижнему протерозою [2].

Геохимические особенности пород. По химическому составу породы русиновского комплекса разделяются на две петрохимические серии: магнезиальную (троктолиты, габбронориты,

Среднее содержание оксидов и микроэлементов в породах русиновского комплекса
The average content of oxides and trace elements in the rocks of the Rusinovsky complex

Компонент Component	Порода Rock								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Оксиды, мас. %</i>									
<i>n</i>	7	2	3	8	5	6	7	4	3
SiO ₂	43,13	43,03	47,69	50,64	50,34	50,48	44,92	46,94	50,39
TiO ₂	0,28	0,23	0,18	0,29	0,36	0,38	0,25	1,88	2,34
Al ₂ O ₃	13,83	11,94	19,08	17,27	15,70	14,41	14,25	14,29	14,33
Fe ₂ O ₃	2,87	4,66	1,13	1,02	1,56	1,54	2,39	5,39	4,76
FeO	6,45	5,26	5,48	4,89	5,06	5,28	6,81	8,92	8,95
MnO	0,16	0,15	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,25	0,24
MgO	18,72	19,93	10,57	9,06	10,09	10,97	16,22	7,22	4,76
CaO	8,62	7,23	11,86	13,52	13,27	13,69	9,49	10,57	8,40
Na ₂ O	1,23	1,07	1,66	1,82	1,36	1,26	1,09	1,98	2,73
K ₂ O	0,12	0,28	0,26	0,15	0,15	0,16	0,18	0,30	0,52
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,32	0,55
SO ₃	0,03	0,15	0,18	0,15	0,12	0,07	0,14	0,13	0,13
П.п.п	4,38	6,07	1,52	0,92	1,28	1,62	4,10	1,54	1,74
Сумма	99,83	100,01	99,74	99,88	99,46	100,03	100,02	99,71	99,83
<i>F</i> _{общ}	0,34	0,34	0,39	0,40	0,40	0,39	0,37	0,67	0,74
<i>t'</i>	3,08	2,32	2,72	4,90	5,53	5,52	2,81	13,13	16,89
<i>al'</i>	0,52	0,40	1,12	1,19	0,97	0,86	0,67	0,66	0,78
<i>mg</i>	0,66	0,66	0,61	0,60	0,60	0,61	0,63	0,33	0,26
Na ₂ O + K ₂ O	1,35	1,35	1,92	1,97	1,51	1,42	1,27	2,28	3,25
Na ₂ O / K ₂ O	10,12	4,99	9,67	13,39	9,46	8,05	6,30	6,79	5,90
<i>Микроэлементы, г/т</i>									
<i>n</i>	7	2	2	11	5	4	10	4	9
Ti	1540	1100	1750	1330	2600	1750	1290	11600	14500
V	100	60	100	150	140	90	80	270	200
Cr	300	300	300	320	430	300	560	100	190
Ni	590	400	180	140	160	180	500	60	90
Co	150	90	50	50	50	40	110	60	50
Sc	20	20	50	40	40	50	20	40	50
Cu	130	50	70	100	40	70	420	60	80
Pb	5	6	3	5	5	4	4	3	5
Zn	90	70	70	70	60	60	130	160	100
Ag	0,2	–	0,1	0,1	–	0,1	0,3	0,1	0,1
Mo	2,0	1,5	1,3	1,1	1,1	1,1	1,6	1,5	1,4
Sn	1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,4	–	1,8
Ga	12	10	12	11	12	12	8	14	15
Sr	210	250	400	250	260	430	160	300	380
Ba	100	150	150	180	200	190	160	100	200
Be	0,6	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	–	0,9
Zr	20	45	20	35	40	25	30	40	90
Nb	3	6	3	6	6	5	6	8	7
Y	8	18	15	12	15	20	11	31	20
Yb	0,9	1,8	1,8	1,0	1,5	2,0	1,1	2,0	1,8

Примечание: 1 – троктолиты, 2 – габбронориты оливиновые, 3 – габбро оливиновое, 4 – габбронориты амфиболитизированные, 5 – габбро амфиболитизированное, 6 – габбро-амфиболиты и апогаббровые амфиболиты, 7 – актинолиты, 8 – габбро-диабазы и диабазы, 9 – амфиболиты аподиабазовые; $F_{\text{общ}} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$ – общая железистость; $t' = (\text{TiO}_2 \cdot 100) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ – титанистость пород; $al' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$ – коэффициент глиноземистости; $mg = \text{MgO} / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$ – коэффициент магнезиальности; *n* – количество проб.

Note: 1 – troctolites, 2 – olivine gabbronorites, 3 – olivine gabbro, 4 – amphibolized gabbronorites, 5 – amphibolized gabbro, 6 – gabbro-amphibolites and apogabbroic amphibolites, 7 – actinolites, 8 – gabbro-diabases and diabases, 9 – apodiabasic amphibolites; $F_{\text{общ}} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$ – total iron content; $t' = (\text{TiO}_2 \cdot 100) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ – rock titanicity; $al' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$ – alumina coefficient; $mg = \text{MgO} / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$ – magnesianity coefficient; *n* – number of samples.

габбро оливковое, габбро-амфиболиты, актинолититы) с содержанием MgO в среднем 20–25 % и титано-железистую (диабазы, габбро-диабазы, амфиболиты аподиабазовые) с содержанием TiO₂ в среднем 2–3 % и суммы железа до 16 % (таблица). По суммарному содержанию щелочей все ультрабазит-базитовые породы относятся к нормальному ряду; преобладающий тип щелочности – натриевый. Для пород магнезиальной серии характерны низкая железистость ($F_{\text{общ}} = 0,3–0,4$) и умеренная титанистость ($t' = 2,3–5,5$), низкая и умеренная глиноземистость ($a' = 0,4–1,2$), преобладание закисной формы железа над окисной, резкое преобладание натрия над калием. Породы титано-железистой серии отличаются довольно высокой титанистостью ($t' = 13,1–16,9$) и повышенной железистостью ($F_{\text{общ}} = 0,6–0,7$), умеренной глиноземистостью ($a' = 0,7–0,8$), низкой магнезиальностью ($mg = 0,2–0,3$), а также наблюдается повышенное содержание калия (K₂O = 0,3–0,5 %) по сравнению с породами магнезиальной серии.

Для микроэлементного состава (таблица) русиновского комплекса характерна обедненность Ti (кроме диабазовых пород) и литофильными элементами – Sr, Ba, Zr, Nb, содержание которых в 2–7 раз ниже кларка пород соответствующего состава по А. П. Виноградову [3]. Во всех породах отмечается повышенное содержание Cr, Ni, Co и Cu; Cr преобладает над V (кроме диабазов), Ni над Co и Sr над Ba. Геохимическая специализация пород определяется как сидерофильная [4]. Также в породах комплекса отмечается наличие медно-никелевого оруденения и благороднометальной минерализации [5].

Условия формирования. Породы магнезиальной серии русиновского комплекса по высоким содержаниям MgO и элементов группы железа (Cr, Ni, Co), преобладанию Ni над Co и обедненности Zr и Nb близки к породам пикритовой, пикрит-базальтовой серии, характерным для подводных океанических поднятий [6]. На диаграмме MgO–FeO*–Al₂O₃ точки составов пород этой серии находятся преимущественно в полях океанических абиссальных базальтов (рис. 1, а). Точки состава пород титано-железистой серии (диабазы, габбро-диабазы и аподиабазовые амфиболиты) группируются ближе к полю океанических островных базальтов (рис. 1, а). На данной ди-

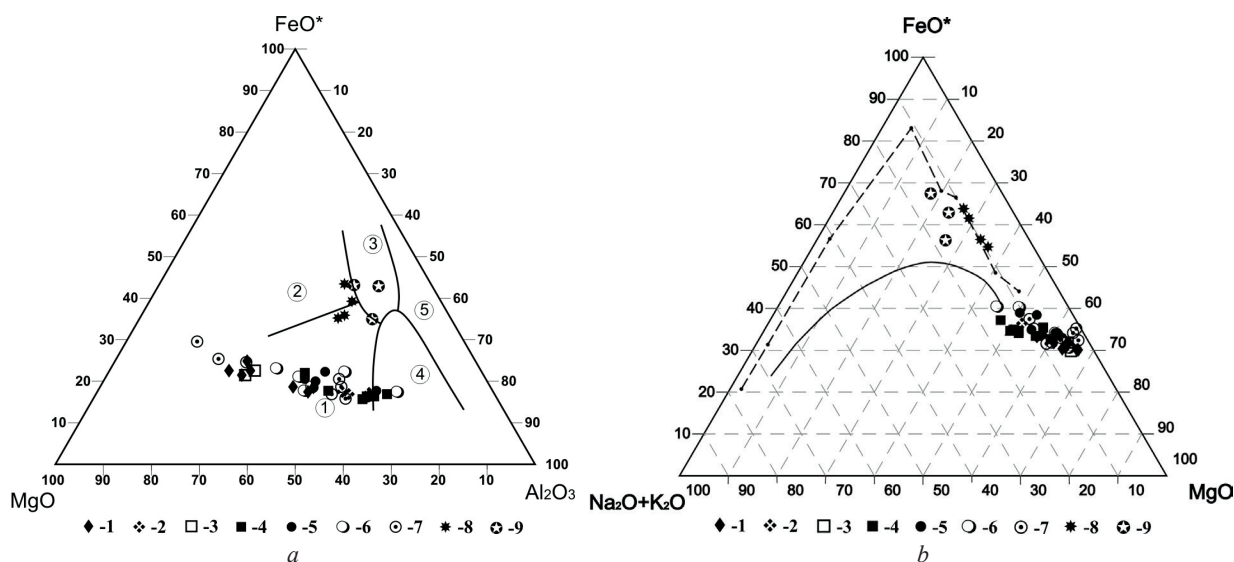


Рис. 1. Дискриминационные диаграммы для пород русиновского комплекса: а – диаграмма MgO–FeO*–Al₂O₃; б – диаграмма AFM: (Na₂O + K₂O)–FeO*–MgO. Примечание: название пород см. в таблице. Поля базальтовых серий (цифры в кружочках): 1 – океанических абиссальных, 2 – океанических островных, 3 – континентальных платобазальтовых, 4 – орогенных островодужных и окраинно-континентальных, 5 – островных из зон растяжения [7]. Пунктирной линией показан тренд дифференциации габброидов Скергаардского интрузива [8], сплошной линией – тренд дифференциации Гавайской щелочной серии [9]

Fig. 1. Discriminating diagrams for rocks of the rusynovsky complex: a – MgO–FeO*–Al₂O₃ diagram; b – AFM diagram: (Na₂O + K₂O)–FeO*–MgO. Note: the name of the rocks, see table. Fields of basalt series (numbers in circles): 1 – oceanic abyssal, 2 – oceanic island, 3 – continental plateau-basalt, 4 – orogenic island-arc and marginal-continental, 5 – island from the zones of extension [7]. The dashed line shows the differentiation trend of the Skergaard intrusion gabbroids [8], the solid line shows the differentiation trend of the Hawaiian alkaline series [9]

аграмме видно, что выделяются две отдельные группы, формировавшиеся возможно независимо друг от друга, т. е. диабазы и габбро-диабазы не являются дифференцированной разностью основных габброидов (троктолитов, габброноритов, габбро амфиболизированных). Это можно наблюдать и на диаграмме AFM (рис. 1, *b*). Фигуративные точки химического состава рассматриваемых пород образуют также два обособленных ареала. При этом точки габброидов в виде компактной группы сосредоточены в поле повышенной магнезиальности, тогда как диабазы образуют ареал, вытянутый к вершине FeO* и несколько смещенный в сторону щелочей от линии дифференциации габброидов Скергаардского интрузива [8].

Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) служит важным диагностическим признаком условий образования магматических пород [10]. На диаграмме распределения некогерентных элементов (рис. 2) ультрабазит-базитовые породы русиновского комплекса отражают минимумы Nb и Zr, что является характерной особенностью островодужных магм. Поведению крупноионных литофильных элементов в породах этого комплекса соответствуют определенные различия. Резкие минимумы Rb, Th при максимуме Sr, Ba в породах свидетельствуют об участии материала нижней коры даже в наиболее примитивных магмах.

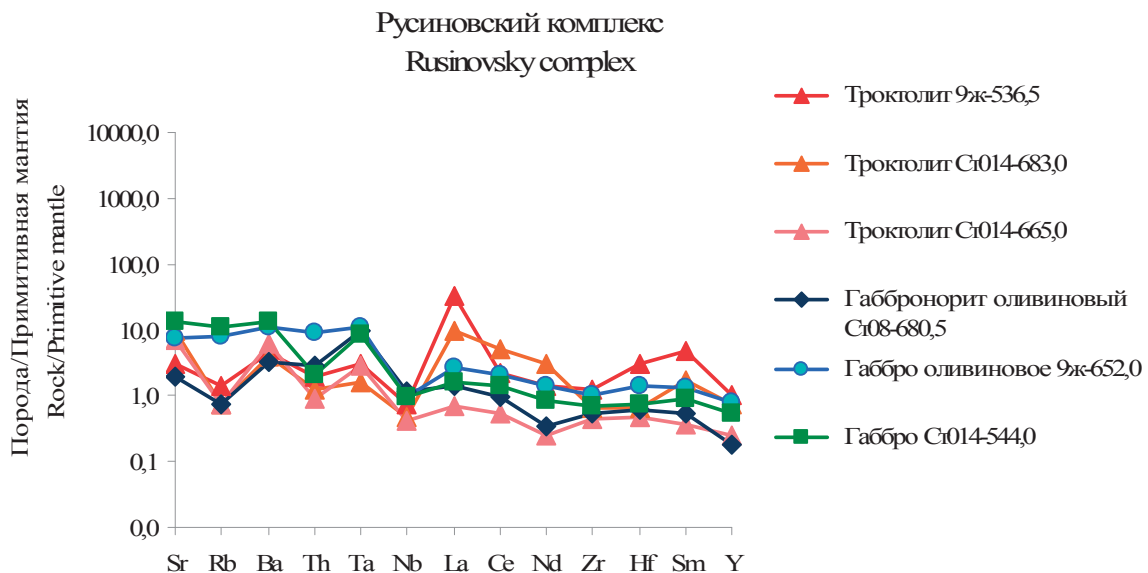


Рис. 2. Распределение некогерентных элементов в породах русиновского комплекса [11]

Fig. 2. Distribution of incoherent elements in the rocks of the Rusinovsky complex [11]

Хондрит-нормализованные спектры РЗЭ габброидов (рис. 3) демонстрируют обогащение легкими редкими землями относительно тяжелых ($La / Yb = 4-44$), что обусловлено дифференциацией первичного расплава. Наиболее высокие содержания РЗЭ наблюдаются в троктолитах и заметно снижаются в габбро. Европиевая аномалия контролируется главным образом полевыми шпатами, так как европий является совместимым элементом в плагиоклазе и калиевом полево-м шпате. Если при образовании породы в результате процессов фракционной кристаллизации или частичного плавления плагиоклаз остается в источнике, то наблюдается отрицательная европиевая аномалия в расплаве [12]. Так как в породах русиновского комплекса присутствуют положительные Eu аномалии, это свидетельствует о расплавлении и переработке первоначального состава магмы.

Анализ содержания малых элементов в породах позволяет предполагать, что некоторое обогащение легкими РЗЭ обусловлено дифференциацией первичного расплава, поздние порции которого были обогащены легкими элементами, сосредоточенными в жидкости, в то время как тяжелые удаляются из расплава вместе с кристаллизующимися оливином и пироксенами. Соотношения $Ti/Y-Nb/Y$ в породах русиновского комплекса схожи с таковыми в островодужных базальтах [14].

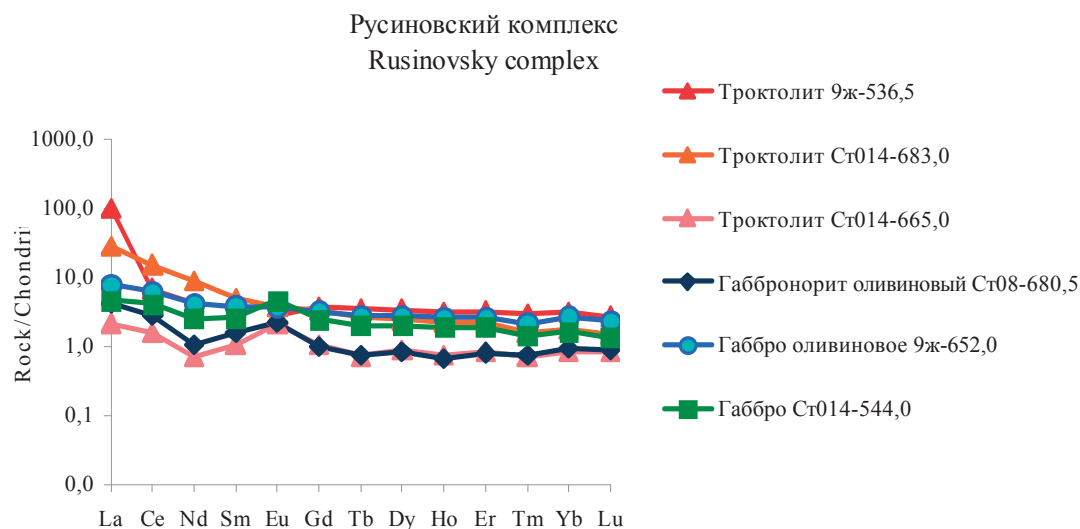


Рис. 3. Хондрит-нормализованное распределение редких земель в породах русиновского комплекса [13]

Fig. 3. Chondritis-normalized distribution of rare earths in the rocks of the Rusinovskiy complex [13]

Заклучение. По химическому составу породы русиновского комплекса разделяются на две петрохимические серии: магнезиальную и титано-железистую. Породы комплекса относятся к ряду ультраосновных и основных пород низкой и нормальной щелочности натриевой серии, имеют высокую магнезиальность (для пород магнезиальной серии), низкую титанистость и железистость (кроме титано-железистой серии), низкую и умеренную глиноземистость; преобладание закисной формы железа над окисной. Для микроэлементного состава пород русиновского комплекса характерны обогащенность Cr, Cu, Ni, Co, обедненность литофильными элементами – Rb, Th, Nb, Y, Nd.

Спектры редкоземельных элементов во всех ультрабазит-базитовых породах русиновского комплекса умеренно дифференцированы ($La/Yb = 4–44$). Наиболее высокие содержания РЗЭ наблюдаются в троктолитах и заметно снижаются в габбро. Резкие минимумы Rb, Th при максимуме Sr, Ba в породах свидетельствуют о коровой контаминации магмы. Характерной особенностью пород являются обогащение легкими редкими землями относительно тяжелых и положительные Eu аномалии, которые указывают на расплавление и переработку первоначального состава магмы. По условиям формирования ультрабазит-базитовые породы русиновского комплекса близки к островодужным образованиям [15].

Список использованных источников

1. Железорудные формации докембрия Белоруссии / А. С. Махнач [и др.]. – Минск, 1974. – 144 с.
2. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка / С. А. Кручек [и др.]. – Минск, 2010. – 282 с.
3. Виноградов, А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
4. Аксаментова, Н. В. Петрография и геохимия кристаллического фундамента Беларуси / Н. В. Аксаментова, А. А. Толкачикова. – Минск, 2012. – 232 с.
5. Таран, Л. Н. Базит-ультрабазиты Столбцовского массива (русиновский комплекс) в фундаменте центральной части Беларуси и перспективы их золото-платиноносности / Л. Н. Таран, В. В. Варакса // Литасфера. – 2012. – № 1 (36). – С. 123–136.
6. Магматические горные породы. – М., 1985. – Т. 3: Основные породы / Е. Д. Андреева [и др.]. – 487 с.
7. Pearce, T. H. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks / T. H. Pearce, B. E. Gormen, T. C. Birkett // Earth. Planet. Sci. Lett. – 1977. – Vol. 36, N 1. – P. 121–132. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(77\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0012-821x(77)90193-5)
8. Wager, L. R. Geological investigations in East Greenland. The petrology of the Scaergaard intrusion, Kangerdlugssuaq, East Greenland / L. R. Wager, W. A. Deer // Medd. om Greenland. – 1939. – Vol. 105, N 4. – 352 p.

9. Ноккольдс, С. Р. Геохимические наблюдения. Геохимия некоторых серий изверженных пород / С. Р. Ноккольдс, Р. Аллен. – М., 1958. – 176 с.
10. Boynton, W. V. Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies / W. V. Boynton // *Rare Earth Element Geochemistry*. – Amsterdam, 1984. – P. 63–114. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-42148-7.50008-3>
11. McDonough, W. F. Chemical and isotopic systematics of continental lithospheric mantle / W. F. McDonough // *Proc. 5th Int. Kimberlite Conf., CPRM (Comp. Pesq. Recurs. Miner.)* / eds. H. O. A. Meyer, O. H. Leonardos. – Brasilia, 1994. – P. 478–485.
12. Интерпретация геохимических данных / Е. В. Скляр [и др.]. – М., 2001. – С. 68–69.
13. Sun, S. S. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S. S. Sun, W. F. McDonough // *Geological Society, London, Special Publications*. – 1989. – Vol. 42, N 1. – P. 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
14. Condie, K. C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance / K. C. Condie // *Lithos*. – 1989. – Vol. 23. – P. 1–18. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(89\)90020-0](https://doi.org/10.1016/0024-4937(89)90020-0)
15. Pearce, J. A. Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of association igneous host rocks / J. A. Pearce, G. H. Gale // *Geological Society, London, Special Publications*. – 1977. – Vol. 7, N 1. – P. 14–24. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1977.007.01.03>

References

1. Makhnach A. S., Dominikovskii G. G., Pasyukevich V. I., Stasevich A. I., Shvarkov S. L., Kolotovskii A. S., Il'kevich G. I. *Iron ore formations of Precambrian Belarus*. Minsk, 1974. 144 p. (in Russian).
2. Kruchek S. A., Matveev A. V., Yakubovskaya T. V. [et al.]. *Stratigraphic schemes of Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus: explanatory note*. Minsk, 2010. 282 p. (in Russian).
3. Vinogradov A. P. The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. *Geokhimiya [Geochemistry]*, 1962, no. 7, pp. 555–571 (in Russian).
4. Aksamentova N. V., Tolkachikova A. A. *Petrography and geochemistry of the crystalline basement of Belarus*. Minsk, 2012. 232 p. (in Russian).
5. Taran L. N., Varaksa V. V. Basite-ultrabasites of the Stolbtsy massif (Rusinovka complex) in the basement of the central part of Belarus and their prospects for PGE and gold. *Litasfera [Lithosphere]*, 2012, no. 1 (36), pp. 123–136 (in Russian).
6. Andreeva E. D., Bogatikov O. A., Borsuk A. M., Gon'shakova V. I., Dmitriev Yu. I., Krasivskaya I. S., Laz'ko E. E., Simon A. K., Sukhanov M. K., Frikh-Khar D. I., Tsvetkov A. A., Chesnokov S. V., Sharkov E. V. *Igneous rocks. Vol. 3: The main breeds*. Moscow, 1985. 487 p. (in Russian).
7. Pearce T. H., Gormen B. E., Birkett T. C. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 1977, vol. 36, no. 1, pp. 121–132. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(77\)90193-5](https://doi.org/10.1016/0012-821x(77)90193-5)
8. Wager L. R., Deer W. A. Geological investigations in East Greenland. The petrology of the Scaergaard intrusion, Kangerdlugssuaq, East Greenland. *Meddelelser om Greenland*, 1939, vol. 105, no. 4. 352 p.
9. Nocklods S. R., Allen R. The geochemistry of some igneous rock series. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1953, vol. 4, no. 3, pp. 105–142. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(53\)90055-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(53)90055-6)
10. Boynton W. V. Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, 1984, pp. 63–114. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-42148-7.50008-3>
11. McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of continental lithospheric mantle. Meyer H. O. A., Leonardos O. H., eds. *Proceedings 5th International Kimberlite Conference, CPRM (Comp. Pesq. Recurs. Miner.)*. Brasilia, 1994, pp. 478–485.
12. Barash I. G., Bulanov V. A., Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Ivanov A. V., Letnikova E. F., Mironov A. G., Silykh A. I., Sklyarov E. V. *Interpretation of geochemical data*. Moscow, 2001, pp. 68–69 (in Russian).
13. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 1989, vol. 42, no. 1, pp. 313–345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
14. Condie K. C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: Identification and significance. *Lithos*, 1989, vol. 23, pp. 1–18. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(89\)90020-0](https://doi.org/10.1016/0024-4937(89)90020-0)
15. Pearce J. A., Gale G. H. Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of association igneous host rocks. *Geological Society, London, Special Publications*, 1977, vol. 7, no. 1, pp. 14–24. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1977.007.01.03>

Информация об авторе

Гуринович Марина Петровна – науч. сотрудник.
Институт геологии (ул. Купревича, 7, 220141, Минск,
Республика Беларусь). E-mail: marfap88@mail.ru.

Information about the author

Hurynovich Marina Petrovna – Researcher. Institute for
Geology (7, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of
Belarus). E-mail: marfap88@mail.ru.