

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ**MINERAL RESOURCES****МІНЕРАЛЬНА-СЫРАВІННЫЯ РЭСУРСЫ**

УДК 552.321.5:550.41 (476)

М. П. Гуринович

*Филиал «Институт геологии» государственного предприятия «НПЦ по геологии», Минск, Беларусь,
e-mail: marfapk88@mail.ru*

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВ АРГЕЛОВЩИНСКОГО
КОМПЛЕКСА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Приводится краткая геохимическая характеристика ультрабазит-базитовых пород аргеловщинского комплекса кристаллического фундамента центральной части Беларуси, определены условия их формирования. Образование комплекса характеризуется нормальной щелочностью, высокой магнизиальностью, низкой глиноземистостью и общей железистостью. Для микроэлементного состава пород свойственна обогащенность Cr, Ni и Co. Характерной их особенностью являются отрицательные Zr-Hf и Ta-Nb аномалии, что позволяет предполагать коровую контаминацию. Условия формирования пород сходны с геодинамическими обстановками образования толеитовых базальтов островных дуг.

Ключевые слова: кристаллический фундамент, породы аргеловщинского комплекса, геохимия, условия формирования

M. P. Hurynovich

*Branch "Institute for Geology" of the State Enterprise «Research and Production Center for Geology», Minsk, Belarus,
e-mail: marfapk88@mail.ru*

**FORMATION CONDITIONS OF THE ULTRABASIC-BASIC ROCKS FROM THE ARGELOVSHCHINSKY COMPLEX
OF THE CRYSTALLINE BASEMENT OF BELARUS**

Abstract. The article provides a brief geochemical characteristic of the ultrabasic-basic rocks of the argelovschinsky complex of the crystalline basement of the central part of Belarus, the conditions of their formation are determined. Rocks of the complex are characterized by normal alkalinity, high magnesium content, low alumina content and total iron content. The microelement composition of the rocks is characterized by enrichment in Cr, Ni and Co. Their characteristic feature is negative Zr-Hf and Ta-Nb anomalies, which suggests crustal contamination. The formation conditions of the rocks are similar to the geodynamic settings of the formation of tholeiitic basalts of island arcs.

Keywords: crystalline basement, rocks of the argelovschinsky complex, geochemistry, formation conditions

М. П. Гурынович

*Філіял «Інстытут геалогіі» дзяржаўнага прадпрыемства «НПЦ па геалогіі», Мінск, Беларусь,
e-mail: marfapk88@mail.ru*

**УМОВЫ ФАРМІРАВАННЯ ЎЛЬТРАБАЗІТ-БАЗІТАЎ АРГЕЛАЎШЧЫНСКАГА КОМПЛЕКСУ
КРЫШТАЛІЧНАГА ФУНДАМЕНТУ БЕЛАРУСІ**

Анотацыя. Прыводзіцца кароткая геахімічная характарыстыка ультрабазіт-базітавых парод аргелаўшчынскага комплексу крышталічнага фундаменту цэнтральнай часткі Беларусі, вызначаны ўмовы іх фарміравання. Утварэнні комплексу характарызуецца нармальнай шчолачнасцю, высокай магнезіальнасцю, нізкай гліназёмістасцю і агульнай жалезістасцю. Для мікраэлементнага складу парод уласціва ўзбагачанасць Cr, Ni і Co. Характэрнай іх асаблівасцю з'яўляюцца адмоўныя Zr-Hf і Ta-Nb анамаліі, што дазваляе меркаваць коравую кантамінацыю. Умовы фарміравання парод падобныя да геадынамічных абставін утварэння талеітавых базальтаў астраўных дуг.

Ключавыя словы: крышталічны фундамент, пароды аргелаўшчынскага комплексу, геахімія, умовы фарміравання

Введение. Аргеловщинский комплекс выделен [1] в центральной части кристаллического фундамента Беларуси в пределах Старицкой зоны разломов [2] северо-восточного простира-ния. Породы слагают цепочку небольших по размеру массивов (не превышают первых квадрат-ных километров) и линзовидных интрузивных тел, вскрытых на глубинах 80–120 м. Массивы ком-плекса сложены разнообразными по минеральному составу ультрабазит-базитами (перидотиты,

вебстериты, пироксениты, горнблендиты, габбро амфиболовое, габбродолериты и микрогаббро-порфириды). Некоторая часть пород превращена в хлорит-амфиболовые, хлорит-тремолит-серпентиновые и хлорит-флогопит-тремолитовые породы (сланцы). Вмещающими породами ультрабазит-базитов являются гранитоиды микашевичского комплекса, плагиогнейсы и мигматизированные гнейсы перетокской толщи. Возрастное положение пород аргеловщинского комплекса определяется тем, что они располагаются среди разгнейсованных гранитоидов микашевичского комплекса с возрастом 1970 ± 15 , 1982 ± 26 млн лет [3], не подвержены рассланцеванию, как вмещающие породы, и являются более поздними образованиями. В свою очередь массивы ультрабазит-базитов прорываются гранитоидами бобовнянского комплекса, синхронного по времени формирования житковичскому и коростенскому комплексам (возраст 1875–1820 млн лет) [4], т. е. породы аргеловщинского комплекса сформировались в интервале примерно 1970–1875 млн лет назад.

Геохимические особенности пород. Ультрабазит-базиты аргеловщинского комплекса по содержанию кремнезема относятся к породам ультраосновного (таблица, № 1–2) и основного (таблица, № 3–12) составов. Большинству пород аргеловщинского комплекса характерна низкая общая железистость ($F_{\text{общ}} = 0,31–0,41$) и глиноземистость ($al' = 0,07–0,37$), низкое содержание TiO_2 (обычно менее 0,5 %), преобладание MgO над CaO (таблица, № 1–8). Ультраосновным породам (ультрабазитам) свойственно высокое содержание MgO, CaO, низкое содержание Na_2O , Al_2O_3 , наиболее магнезиальными и низкоглиноземистыми являются перидотиты. Габброиды (таблица, № 9–12) отличаются высокой титанистостью и глиноземистостью ($t' = 8,00–13,47$; $al' = 0,65–0,87$), низким содержанием MgO (7,4–10,4 %) [5]. По соотношению кремнезема и содержания щелочей они относятся к породам низкощелочного и нормальнощелочного ряда; преобладающий тип щелочности – натриевый.

Средние содержания оксидов (мас.%) и микроэлементов (г/т) в породах аргеловщинского комплекса

Компоненты	Порода											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Оксиды, мас.%												
SiO_2	42,86	41,23	47,01	46,78	46,66	48,70	51,70	52,08	46,39	49,33	43,64	53,05
TiO_2	0,18	0,21	0,36	0,38	0,52	0,28	0,47	0,34	1,63	1,63	1,65	0,73
Al_2O_3	3,39	2,97	5,28	5,12	6,32	3,63	9,32	4,27	16,99	13,75	19,38	13,34
Fe_2O_3	14,83	9,76	5,06	7,18	3,23	9,21	3,16	1,76	4,21	7,23	15,70	2,44
FeO	–	4,08	5,93	5,55	6,87	–	6,94	6,05	7,86	6,14	–	6,73
MnO	0,15	0,17	0,14	0,17	0,21	0,16	0,19	0,18	0,15	0,20	0,12	0,14
MgO	26,43	29,67	20,96	20,71	17,66	20,92	14,96	17,18	7,37	7,71	7,38	10,36
CaO	2,72	4,14	10,36	11,10	14,69	13,54	9,22	14,79	8,67	8,34	7,30	6,09
Na_2O	0,40	0,18	0,71	0,71	0,78	0,65	0,95	0,67	2,65	2,35	1,75	2,52
K_2O	0,18	0,10	0,33	0,32	0,32	0,33	0,97	0,48	1,18	1,36	0,90	2,29
P_2O_5	0,06	0,10	0,10	0,08	0,04	0,04	0,14	0,07	0,31	0,01	0,08	0,20
SO_3	0,10	0,11	0,17	0,23	0,10	–	0,07	0,05	0,67	–	0,67	0,10
П.п.п.	8,10	9,71	3,21	2,81	0,07	2,84	1,74	–	0,95	1,38	0,66	1,41
Сумма	99,30	99,87	99,58	99,86	97,31	100,29	99,83	97,80	98,99	99,39	99,20	99,65
$F_{\text{общ}}$	0,36	0,32	0,35	0,38	0,37	0,31	0,41	0,32	0,62	0,64	0,68	0,47
t'	1,20	1,52	3,28	3,00	5,17	2,99	4,68	4,40	13,47	12,16	10,48	8,00
al'	0,08	0,07	0,17	0,15	0,23	0,12	0,37	0,17	0,87	0,65	0,84	0,68
Na_2O/K_2O	2,22	1,80	2,15	2,22	2,44	2,06	1,02	1,55	2,26	1,74	1,98	1,11
n	4	5	4	9	6	2	4	8	2	2	2	3
Микроэлементы, г/т												
Ti	1400	2130	1000	2460	1860	2850	3500	1350	13 000	6800	7400	5250
V	80	70	200	140	200	120	180	170	240	240	200	110

Компоненты	Порода											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cr	1300	3600	1500	1710	1430	2800	1080	1350	170	20	–	1380
Ni	1020	1450	1000	690	300	660	480	230	80	40	30	310
Co	100	90	200	110	140	80	80	120	70	60	50	70
Sc	12	5	40	30	54	24	31	45	10	38	9	20
Cu	80	40	150	110	130	80	30	50	110	100	70	20
Pb	8	3	6	5	7	9	7	9	10	10	11	13
Zn	500	330	100	190	100	250	80	80	300	130	400	180
Mo	3,5	4,0	2,0	2,9	1,2	5,0	1,0	1,0	–	1,6	–	1,3
Sn	2,5	2,5	1,0	2,9	2,3	1,0	2,8	2,1	–	2,6	–	6,0
Ga	5	5	10	9	11	8	15	10	–	26	–	50
Sr	–	–	100	160	330	–	230	260	600	500	350	700
Ba	150	–	100	170	160	180	250	210	300	300	290	570
Be	1,0	–	0,6	0,8	0,5	1,6	1,4	0,8	1,8	2,2	1,9	2,3
Zr	20	80	30	30	50	30	110	40	120	100	70	70
Nb	5,0	5,0	4,0	4,6	3,9	4,3	8,0	3,1	5,0	9,2	6,0	5,8
Y	13	16	15	16	16	18	45	15	27	32	23	18
Yb	1,3	1,5	1,5	1,6	1,6	1,8	4,5	1,4	2,5	3,2	2,3	1,9
<i>n</i>	3	4	1	11	7	4	4	13	1	5	2	4

Примечание: 1 – перидотиты роговообманковые; 2 – хлорит-тремолит-серпентиновые и хлорит-флогопит-тремолитовые породы по перидотитам; 3 – вебстериты; 4 – пироксениты оливин-роговообманковые; 5 – пироксениты оливин-роговообманковые (Кольцевой объект); 6 – флогопит-тремолит-роговообманковые породы по пироксенитам; 7 – горнблендиты оливинсодержащие; 8 – горнблендиты (Кольцевой объект); 9 – габбро амфиболовое; 10 – габбро амфиболовое магнетитсодержащее; 11 – габбродолериты; 12 – микрогаббро-порфириты. $F_{\text{общ}} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$, мас.% – общая железистость; $t' = (\text{TiO}_2 \times 100) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$, мас. % – титанистость пород; $al' = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас.% – коэффициент глиноземистости; *n* – количество проб.

Для микроэлементного состава пород характерна обогащенность Cr, Ni и Co (таблица), наибольшее содержание которых наблюдается в перидотитах и пироксенитах и их измененных разновидностях. Всем образованиям комплекса свойственно низкое содержание Pb, Zr, Nb, перидотиты обеднены также Sc, Cu, Sr, Ba [5]. Геохимическая специализация пород определяется как сидерофильная на Cr, Ni и Co. Образования аргеловщинского комплекса также характеризуются наличием никелевой и благороднометальной минерализаций (содержание никеля – до 2000 г/т, платина – до 700 мг/т, палладий – до 500 мг/т, серебро – до 100 мг/т, золото – 15 мг/т) [6].

Условия формирования. Особенности химического состава ультрабазит-базитовых пород аргеловщинского комплекса позволяют предполагать, что родоначальным источником могли быть магмы пикритового или пикрит-базальтового состава, возникающие при значительной степени плавления мантийного субстрата в условиях резко повышенного теплового потока [7], что свойственно океаническим базальтам [8].

На дискриминационной диаграмме (рис. 1, а) точки состава большинства ультрабазит-базитов попадают в поле океанических островных базальтов (№ 1–8), а габброидов основного состава (№ 9–12) – в поле океанических абиссальных базальтов. На треугольной диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{FeO}^* - \text{MgO}$ (диаграмма AFM) перидотиты, вебстериты, пироксениты и горнблендиты обособляются в компактную группу пород в поле повышенной магнезиальности (рис. 1, б), тогда как габброиды (габбро амфиболовое, габбродолериты, микрогаббро-порфириты) образуют ореол, вытянутый в сторону линии дифференциации Гавайской щелочной серии [9], что свидетельствует, по-видимому, о формировании их позже из более дифференцированных порций расплава. Это также подтверждается и тем, что в габброидах наблюдается актинолитовая роговая обманка с высоким содержанием кремнезема и низким – алюминия, что свойственно роговым обманкам поздней стадии кристаллизации [10].

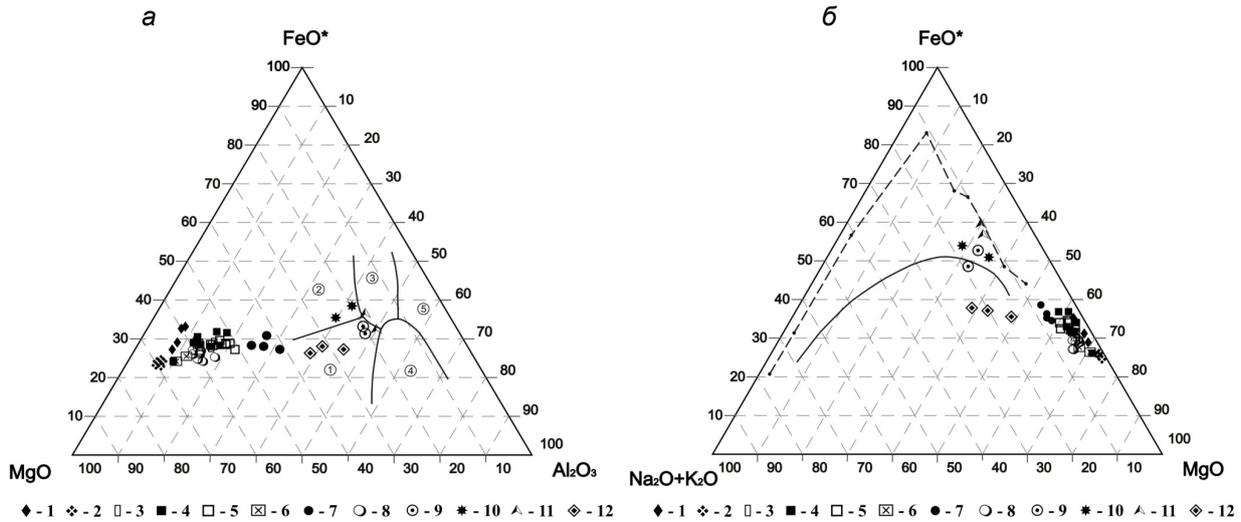


Рис. 1. Дискриминационные диаграммы для пород аргеловщинского комплекса: а – диаграмма MgO–FeO*–Al₂O₃; б – диаграмма AFM: (Na₂O+K₂O) – FeO* – MgO. Примечание: название пород см. таблицу. Поля базальтовых серий (цифры в кружочках): 1 – океанических абиссальных, 2 – океанических островных, 3 – континентальных платобазальтовых, 4 – орогенных островодужных и окраинно-континентальных, 5 – островных из зон растяжения [8]. Пунктирной линией показан тренд дифференциации габброидов Скергаардского интрузива [11], сплошной линией – тренд дифференциации Гавайской щелочной серии [9]

Диаграмма распределения некогерентных элементов (рис. 2) показывает, что ультрабазит-базитовые породы аргеловщинского комплекса обогащены Sr, Ba, Th относительно Ta и элементов с высоким ионным потенциалом (Nb, Zr). Это, по-видимому, отражает внедрение магм, которые были обогащены легкими редкоземельными (РЗЭ) и крупноионными литофильными элементами в зоне конвергенции. Выделяется повышенное содержание церия и самария во всех породах. Вариации элементов Ba, Rb, Th позволяют оценить долю участия вещества верхней и нижней коры в процессе контаминации вследствие относительного обеднения Rb и Th пород нижней коры. Минимумы Rb, Th при повышении Ba в породах свидетельствуют об участии материала нижней коры в кристаллизации пород. В отдельных образцах (пироксенит скв. Зк–749,0 м, вебстерит скв. Сц 742д–167,7 м и микрогаббро-порфирит скв. Сц 650д–161,0 м) фиксируется обогащение Rb, что, возможно, связано с вкладом материала верхней коры.

На диаграмме также четко наблюдаются отрицательные Ta-Nb и Zr-Hf аномалии, которые, вероятно, свидетельствуют о контаминации корового материала родоначальным расплавом

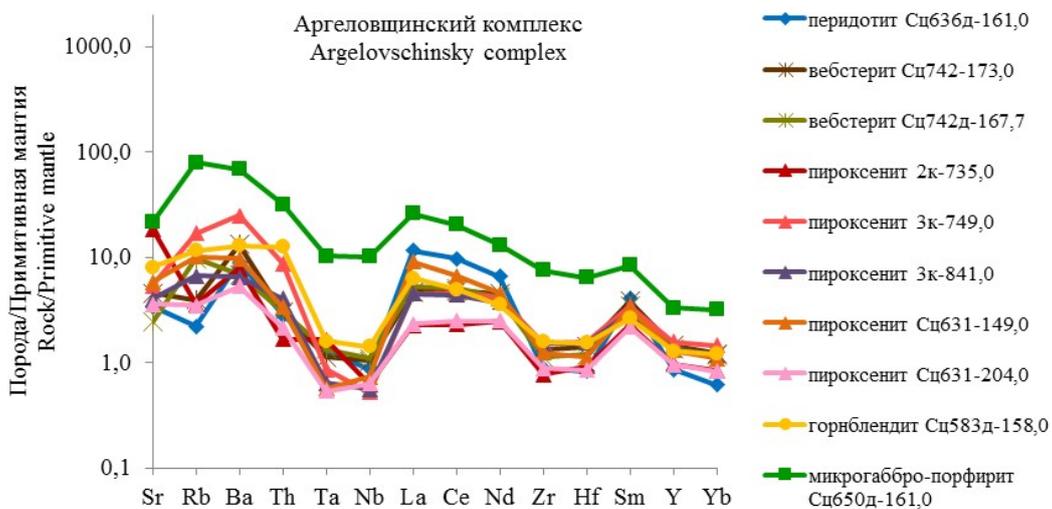


Рис. 2. Распределение некогерентных элементов в породах аргеловщинского комплекса [12]

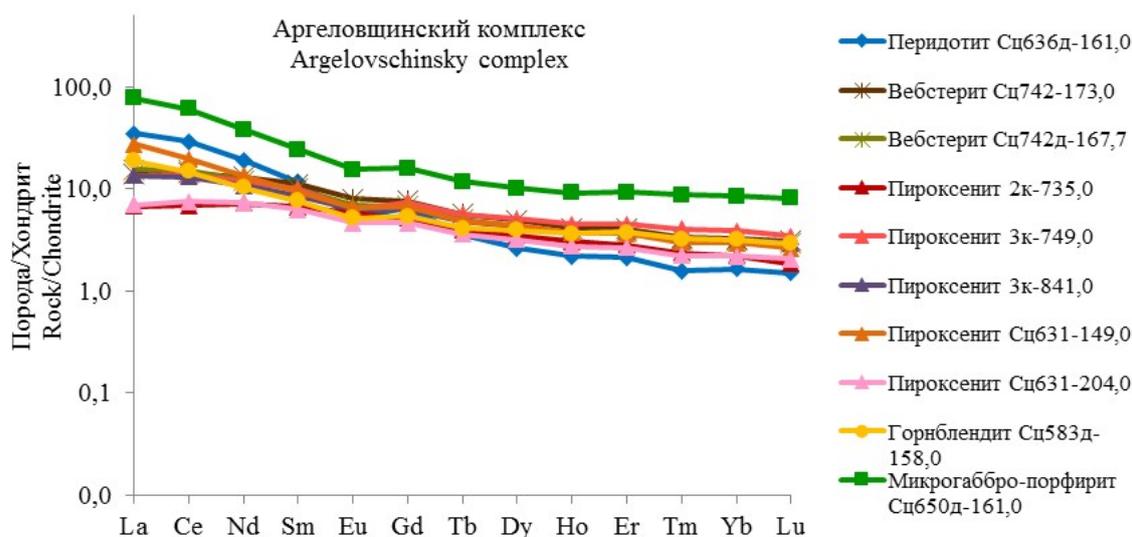


Рис. 3. Хондрит-нормализованное распределение редких земель в породах аргеловщинского комплекса [15]

комплекса в процессе прохождения этого расплава через нижнюю и верхнюю кору к поверхности. Такие минимумы свойственны породам островных дуг [13]. По Ti/Y (≥ 350) и Ce/Nb (>2) магматы аргеловщинского комплекса сопоставимы с толеитовыми базальтами островных дуг [8].

Хондрит-нормализованные спектры РЗЭ пород аргеловщинского комплекса (рис. 3) демонстрируют обогащение их легкими редкими землями, а также наблюдается слабовыраженная отрицательная Eu аномалия, что в совокупности свидетельствует о невовлеченности в процесс фракционирования плагиоклаза [14]. Спектры распределения редкоземельных элементов в ультрабазит-базитовых породах аргеловщинского комплекса умеренно дифференцированы ($La/Yb = 4,2-29,4$). Характерной особенностью пород являются отрицательные Zr-Hf и Ta-Nb аномалии (рис. 2), что позволяет предполагать коровую контаминацию магмой. По соотношению в породах Ta/Yb и Th/Yb и Ti/Y и Zr/Y они наиболее близки к толеитовым базальтам островных дуг [8].

Выводы. По химическому составу породы аргеловщинского комплекса относятся к отряду ультраосновных и основных пород толеитовой магматической серии низкой и нормальной щелочности. Ультрабазит-базиты имеют высокое содержание магния ($MgO = 15,0-29,7$ %), низкую титанистость ($t' = 1,2-5,2$), глиноземистость ($al' = 0,07-0,37$) и железистость ($F_{общ} = 0,31-0,41$); преобладание закисной формы железа над окисной. Для микроэлементного состава пород характерна обогащенность Cr, Ni, Co, обедненность Pb, Zr и Nb; кроме того, перидотиты обеднены также Sc, Cu, Sr, Ba.

Ультрабазит-базитовые породы аргеловщинского комплекса умеренно дифференцированы ($La/Yb = 4,2-29,4$), характеризуются отрицательными Y-Yb аномалиями, что указывает на глубинный магматический источник образования. Отсутствие ярко выраженной Eu аномалии и наличие резких минимумов Ta-Nb и Zr-Hf свидетельствуют о коровой контаминации. Условия формирования пород сходны с геодинамическими обстановками образования толеитовых базальтов островных дуг.

Список использованных источников

1. Черняховский, А. Б. Ультраосновные породы Бобовнянского выступа и их металлогеническая специализация / А. Б. Черняховский, В. И. Пасюкевич, Г. И. Илькевич // Докл. Акад. наук БССР. – 1981. – Т. XXV. – № 12. – С. 1120–1123.
2. Аксаментова, Н. В. Вещественный состав и структурная позиция мафит-ультрамафитовых пород аргеловщинского комплекса кристаллического фундамента Беларуси / Н. В. Аксаментова, В. Д. Кожин, А. И. Трусов // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2004. – Т. 48, № 6. – С. 82–87.
3. Изотопный возраст, природа и структура докембрийской коры в Беларуси / Е. В. Бибикова [и др.] // Стратиграфия, геологическая корреляция. – 1995. – Т. 3, № 6. – С. 68–78.
4. Уран-свинцовый изотопный возраст гранитоидов Белоруссии / Н. П. Щербак [и др.] // Докл. Акад. наук БССР. – 1990. – Т. 34, № 8. – С. 740–743.

5. *Гуринович, М. П.* Петрохимические особенности ультрамафит-мафитовых массивов аргеловщинского комплекса (Беларусь) / М. П. Гуринович // *Металлогения древних и современных океанов – 2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений: XXIII молодеж. науч. шк. – Миасс, Ин-т минералогии УрО РАН. – 2017. – С. 224–228.*
6. *Толкачикова, А. А.* Типы золото-платинометалльной минерализации в ультрабазит-базитовых комплексах кристаллического фундамента Беларуси / А. А. Толкачикова, С. М. Жмодик, М. П. Гуринович // *Актуальные проблемы геологии, геохимии и геофизики: Первый Евразийский горно-геологич. форум; Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: НПЦ по геологии, 2016. – С. 82–84.*
7. *Аксаментова, Н. В.* Геохимические особенности мафит-ультрамафитовых пород аргеловщинского комплекса Беларуси / Н. В. Аксаментова, А. А. Толкачикова, В. И. Левицкий // *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2007. – № 1. – С. 69–73.*
8. *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.*
9. *Ноккольдс, С. Р.* Геохимические наблюдения. Геохимия некоторых серий изверженных пород / С. Р. Ноккольдс, Р. Аллен. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958. – 176 с. (пер. с англ.).
10. *Harry, W. T.* Aluminium replacing silicon in some silicate lattices / W. T. Harry // *Mineral Mag. – 1950. – N 29. – P. 142–150.*
11. *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.*
12. *McDonough, W. F.* Chemical and isotopic systematics of continental lithospheric mantle / W. F. McDonough // In : H. O. A. Meyer and O. H. Leonardos (Editors), *Proc. 5th Int. Kimberlite Conf., CPRM (Comp. Pesq. Recurs. Miner.), Brasilia, 1994. – P. 478–485.*
13. *Короновский, Н. В.* Магматизм как индикатор геодинамических обстановок: учеб. пособие / Н. В. Короновский, Л. И. Демина. – М.: КДУ, 2011. – 234 с.
14. Интерпретация геохимических данных: учеб. пособие / Е. В. Скляров [и др.]; под ред. Е. В. Склярова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – С. 68–69.
15. *Sun, S. S.* Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes / S. S. Sun, W. F. McDonough // In : Saunders A. D. and Norry M. J. (eds.). *Magmatism in ocean basins. – Geol. Soc. London. Spec. – 1989. – Pub. 42. – P. 313–345.*

Поступила 12.01.2021