

УДК 550.4 : 552.4 (477)

Г.В. Артеменко¹, И.А. Самборская¹, А.В. Мартынюк²

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеново НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: regul@igmof.gov.ua; irena.samborska@gmail.com

² Криворожская КГП, КП "Южукргеология"
49000, г. Днепропетровск, Украина, ул. Чернышевского, 11
E-mail: pravobereg@rambler.ru

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАБАЗИТОВ И МЕТАКОМАТИТОВ КРИВБАССА (СРЕДНЕПРИДНЕПРОВСКИЙ МЕГАБЛОК УЩ)

Изучены петрогеохимические особенности metabazитов и метакоматиитов Кривбасса. К вулканогенным породам Восточно-Анновской полосы принадлежат метакоматииты (перидотитовые и базальтовые) и толеитовые metabазальты (магнезиальные и высокожелезистые). Перидотитовые метакоматииты Восточно-Анновской полосы сопоставимы с метакоматиитами КТ формации зеленокаменных структур Среднеприднепровского мегаблока (сурская свита), а высокожелезистые толеитовые базальты — с архейскими базальтами зеленокаменных поясов типа ТН 2. Метабазиты Саксаганского района — это метаморфизованные высокожелезистые толеитовые metabазальты. По геохимическим характеристикам они подобны архейским базальтам зеленокаменных поясов типа ТН 2. На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ metabазиты Восточно-Анновской полосы и Саксаганского района попадают в поле metabазальтов океанического плато, что свидетельствует об образовании их расплавов из плюмового источника. В отличие от metabазитов конкской серии Высокопольской зеленокаменной структуры, им свойственно низкое содержание MgO , CaO , литофильных (Rb , Sr , Ba) и большее — высокозарядных (Nb , Ta , Zr , Hf , U , Th) элементов и ЛРЗЭ. Метабазиты характеризуются небольшими отрицательными значениями ΔNb ($-0,02 \div -0,26$), что может быть результатом их метаморфизма и/или захвата ими вещества более древнего фундамента. В результате процессов амфиболитизации, окварцевания и биотитизации для metabазитов и метакоматиитов Кривбасса характерны привнос SiO_2 , Na_2O , K_2O , Rb и обеднение MgO , CaO и РЗЭ.

Ключевые слова: metabазиты, метакоматииты, Восточно-Анновская полоса, Саксаганский район, РЗЭ, контактиация.

Введение. Вопрос о возрасте metabазитовой толщи Кривбасса рассматривался многими исследователями, но до настоящего времени эта проблема окончательно не решена. На всем протяжении структуры контакт metabазитовой толщи и саксаганских плагиигранитов тектонический, в его пределах проявлены эпигенетические гидротермально-метасоматические процессы амфиболитизации, биотитизации, окварцевания, карбонатизации, хлоритизации, сульфидизации, эпидотизации пород, что весь-

ма затрудняет его однозначную интерпретацию [7]. Одни исследователи считают этот контакт интрузивным [3, 7, 12], другие полагают, что metabазиты залегают на коре выветривания плагиигранитоидов [1, 5, 8, 14]. Согласно геохронологическим данным, амфиболиты Восточно-Анновской полосы прорваны гранитами возрастом 2614 ± 50 млн лет [15]. В работе [14] на основании датирования циркона из амфиболитов Саксаганского района сделан вывод, что они залегают на кварцитах латовского горизонта и формировались в интервале 3,0—2,96 млрд лет.

© Г.В. АРТЕМЕНКО, И.А. САМБОРСКАЯ,
А.В. МАРТЫНЮК, 2015

В настоящее время ряд исследователей разделяют метабазитовую толщу Кривбасса на вулканогенные породы конкской серии и более молодые метавулканиты новокриворожской свиты [11, 13], другие объединяют их в один литолого-формационный комплекс [9]. Метабазитовая толща на простирании Криворожско-Кременчугской структуры имеет разный состав [4, 8, 9, 11]. Б.И. Малюк [11] и В.В. Покалюк [9] на основании анализа большого количества петрохимических данных показали, что метавулканиты основного и ультраосновного состава Восточно-Анновской полосы сопоставимы с метавулканитами зеленокаменных структур (ЗС) Среднеприднепровского мегаблока. Отличительной особенностью метабазитов Саксаганского района является развитие субщелочных базальтов и андезитов-базальтов вместе с базальтами толеитовой серии [8, 9, 11]. М.Н. Коржнев [8] рассматривал андезитов-базальты как аналоги известково-щелочных вулканитов, которые формировались в условиях платформенного режима в передовом рифтогенном бассейне на континентальной окраине андийского типа.

Постановка проблемы. Метабазитовую толщу Криворожско-Кременчугской зоны относят к палеопротерозойским рифтогенным платформенным образованиям либо сопоставляют с метабазитами архейских ЗС Среднеприднепровского мегаблока. Определение генезиса пород метабазитовой толщи Криворожско-Кременчугской структуры может внести важный вклад в решение вопроса о геодинамическом режиме ее формирования. До настоящего времени также недостаточно изучено влияние вторичных изменений на состав пород метабазитовой толщи, что необходимо для достоверной интерпретации геохимических данных.

Цель работы — петрогеохимическое изучение метабазитов и метакоматиитов пород Восточно-Анновской полосы и Саксаганского района Кривбасса и определение возможных геодинамических обстановок их формирования, а также оценка изменений состава РЗЭ при метаморфизме пород метабазитовой толщи.

Методика исследований. Для идентификации геодинамических режимов формирования базальтов разработаны методики, основанные на использовании сведений о содержании элементов редкоземельной группы и высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Y и Ti) [16–18]. Породы, образовавшиеся в субдукционной

обстановке, характеризуются деплетацией в части концентрации высокозарядных некогерентных элементов (Nb, Ta, в меньшей мере Ti) относительно концентрации крупноионных литофильных элементов (K, Rb, Ba, U и Th). Для оценки степени влияния плюмового источника на геохимическую специализацию базальтов разработана диаграмма на основе отношений высокозарядных несовместимых элементов — Zr, Y, Nb, которые не чувствительны к процессам изменения пород и фракционной кристаллизации [17]. На диаграмме Zr/Y — Nb/Y поля базальтов, выплавленных из глубинных магматических источников (плюмовых) и образовавшихся при частичном плавлении деплетированной верхней мантии (малоглубинные источники), разделены линией, удовлетворяющей математической зависимости $\Delta Nb = \lg(Nb/Y) + 1,74 - 1,92 \lg(Zr/Y)$. Важной петрогенетической характеристикой ультрабазитов и базитов оказывается содержание в них переходных элементов (V, Cr, и Ni), а также величина отношений Rb/Sr и Ti/Zr. Концентрация и характер распределения РЗЭ в базитах позволяют оценить механизм их формирования, характеризуют состав источника, степень и условия плавления.

Результаты исследований. Нами выполнены геохимические исследования метабазитов и метакоматиитов Восточно-Анновской полосы (скв. 20520, 20873, 24194) и Саксаганского района (участки шахта им. Ленина (скв. 17814) и Родина) и Криворожской СГС (СГ-8) (рис. 1, 2).

Восточно-Анновская полоса — это моноклиналная структура с устойчивым падением пород на запад в верхних частях, переходящим в отвесное залегание с глубиной [1, 3, 4]. Метабазитовая толща имеет мощность от 100 до 850 м. От метабазитовой толщи Саксаганского района она отделена Демуриным поднятием.

Вулканогенные породы Восточно-Анновской полосы представлены перидотитовыми и базальтовыми коматиитами и толеитовыми базальтами, которые интенсивно изменены вторичными процессами до полного замещения первичных минералов. Они не содержат реликтов первичных структур и представлены амфиболитами актинолитового, актинолит-плагиоклазового и актинолит-биотит-плагиоклаз-кварцевого состава. Это крупно- и среднезернистые породы, структура их лепидо- и гранобластовая. По данным химических анализов, среди них установлены магнезиальные

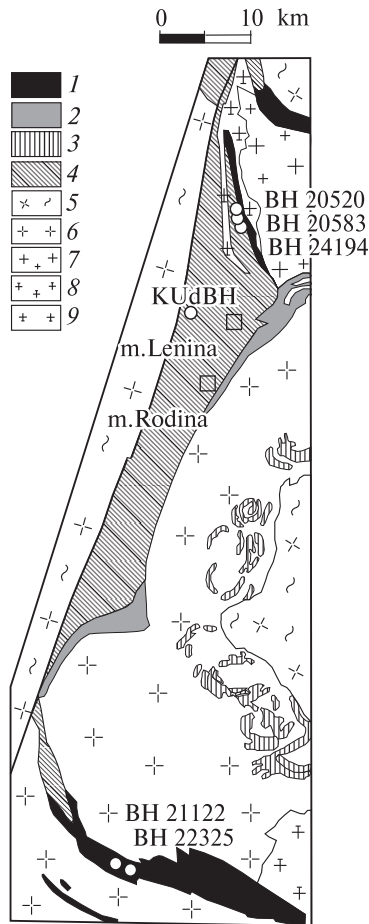


Рис. 1. Схематическая геологическая карта южной части Криворожско-Кременчугской структуры с точками опробования: 1 — осадочно-вулканогенные породы конкской серии, 2 — осадочно-вулканогенные породы новокриворожской свиты, 3 — базиты и метавултрабазиты александровского комплекса, 4 — породы криворожской серии, 5 — плаггиомигматиты днепропетровского комплекса, 6 — саксаганские плаггиограниты, 7 — граниты демуринского комплекса, 8 — граниты токовского комплекса, 9 — граниты анновского комплекса

Fig. 1. Schematic geological map of south part of the Kryvyi Rih-Kremenchug structure with point sampling: 1 — sedimentary-volcanic rocks of Konka series, 2 — sedimentary-volcanic rocks of Kryvyi Rih suite, 3 — basites and metaultrabasites of Olexandrivka complex, 4 — rocks of Kryvyi Rih series, 5 — plagiomigmatites of Dnipropetrovsk complex, 6 — plagiogranites of Saxagan complex, 7 — granites of Demuryne complex, 8 — granites of Tok complex; 9 — granites of Hannivka complex

и железистые разновидности (табл. 1, диаграмма $MgO - (FeO_t + TiO_2) - Al_2O_3$ [19] (рис. 3).

На диаграмме *AFM* точки состава исследуемых амфиболитов расположены в поле пород толеитовой серии, кроме обр. 520/1 и 520/3, в

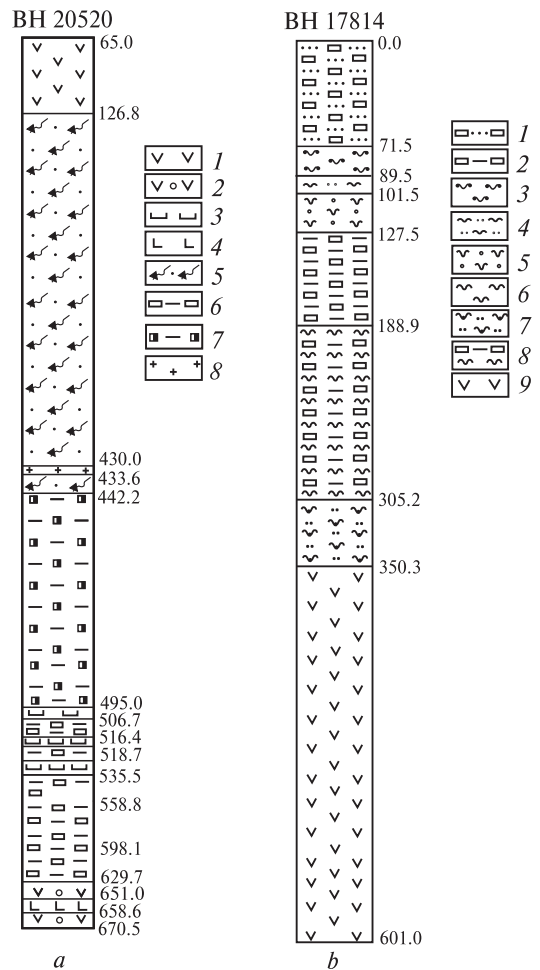


Рис. 2. Схематические колонки скважин: а — скв. 20520: 1 — амфиболиты (высокомгнезиальные метабазалты), 2 — амфиболиты (метабазалты), 3 — перидотитовый метакоматиит, 4 — базальтовый метакоматиит, 5 — кварц-хлорит-плаггиоклаз-актинолитовые сланцы, 6 — безрудные кварциты, 7 — рудные кварциты, 8 — аплит-пегматоидные граниты; б — скв. 17814: 1 — кварцит карбонат-биотит-магнетит-куммингтонитовый, 2 — кварцит слюдястый, 3 — сланец гранат-кварц-биотит-куммингтонитовый, 4 — сланец кварц-хлорит-биотит-серицитовый, 5 — сланец серпентин-талк-тремолитовый, 6 — сланец кварц-биотитовый, 7 — сланец кварц-амфибол-биотитовый, 8 — чередование кварцита слюдястого и сланца кварц-биотитового, 9 — амфиболит

Fig. 2. Schematic column of the borehole: a — bh. 20520: 1 — amphibolites (high-magnesia metabasalts), 2 — amphibolites (metabasalts), 3 — peridotite metakomatiites, 4 — basaltic metakomatiites 5 — quartz-chlorite-plagioclase-actinolite schist, 6 — barren quartzites, 7 — ore quartzites, 8 — aplite-pegmatoid granites; b — bh. 17814: 1 — quartzite carbonate-biotite-magnetite-cummingtonite, 2 — quartzite micaceous, 3 — schist garnet-quartz-biotite-cummingtonite, 4 — schist quartz-chlorite-biotite-sericite, 5 — schist serpentine-talc-tremolite, 6 — schist quartz-biotite, 7 — schist quartz-amphibole-biotite, 8 — interchange of micaceous quartzite and quartz-biotite schist, 9 — amphibolite

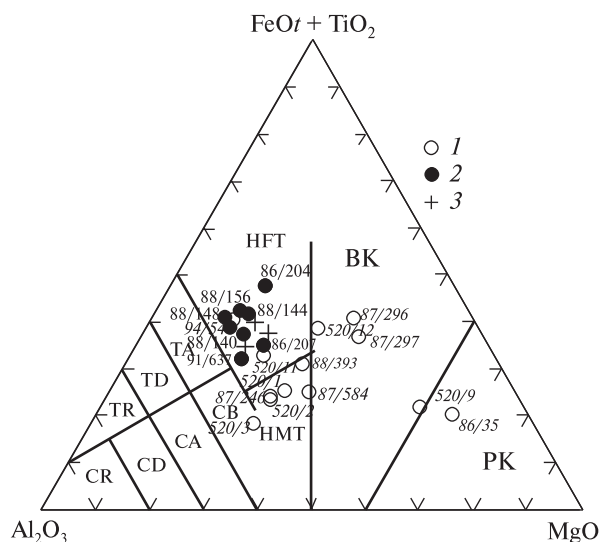


Рис. 3. Диаграмма $\text{MgO} - (\text{FeO}_t + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3$ [19] для амфиболитов Восточно-Анновской полосы (1), Саксанского района (2) и метабазальтов Высокопольской ЗС (3): *BK* — базальтовые коматииты, *PK* — пикриты, *CA* — известково-щелочные андезиты, *CB* — известково-щелочные базальты, *CD* — известково-щелочные дациты, *CR* — известково-щелочные риолиты, *HFT* — высокожелезистые толеиты, *HMT* — высокомагнезиальные толеиты, *TA* — толеитовые андезиты, *TD* — толеитовые дациты, *TR* — толеитовые риолиты

Fig. 3. Diagram of $\text{MgO} - (\text{FeO}_t + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3$ [19] for the amphibolites of the East-Hannivka zone (1), Saxagan area (2) and metabasalts of Vysokopillya GS (3): *BK* — basaltic komatiites, *PK* — picrites, *CA* — calc-alkaline andesites, *CB* — calc-alkaline basalts, *CD* — calc-alkaline dacites, *CR* — calc-alkaline rhyolites, *HFT* — high-iron tholeiites, *HMT* — high-magnesian tholeiites, *TA* — tholeiitic andesites, *TD* — tholeiitic dacites, *TR* — tholeiitic rhyolites

которых несколько выше содержание щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3,59-3,77\%$). Точки их состава формируют отчетливые тренды — коматиитовый (перидотитовый коматиит — базальтовый коматиит) и толеитовый (высокомагнезиальные базальты — базальты — высокожелезистые базальты) (рис. 4).

Перидотитовые метакоматииты (скв. 20520, обр. 520/9, 86/35) представлены актинолитами. По химическому составу ($\text{SiO}_2 = 45,66-48,59\%$; $\text{TiO}_2 = 0,36-0,39$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,29-8,14$; $\text{MgO} = 24,67-25,71$; $\text{K}_2\text{O} = 0,22-0,3\%$, табл. 1) это высокомагнезиальная ($mg = 71,84-75,54\%$), низкокалиевая и низкоглиноземистая порода. Среди них выделяются Al-недеплетированные ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 = 22,7$) и обогащенные титаном Al-деплетированные перидотитовые коматииты ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 = 13,56$) [6]. Для них характер-

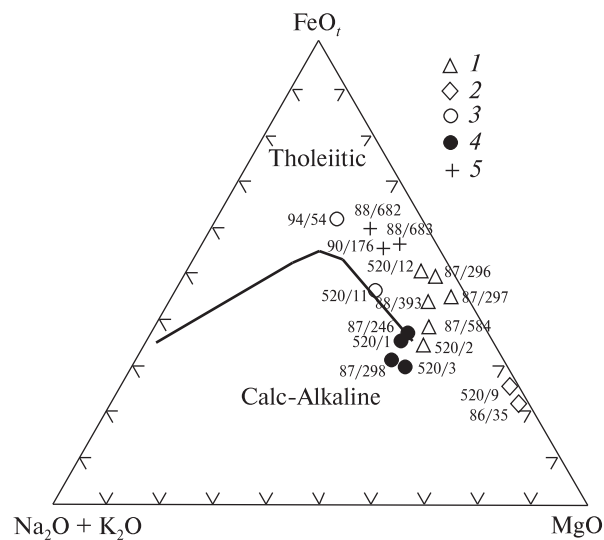


Рис. 4. Диаграмма *AFM* для пород Восточно-Анновской полосы (1 — базальтовый метакоматиит, 2 — перидотитовый метакоматиит, 3 — метабазальты, 4 — магнезиальные метабазальты) и метабазальтов Высокопольской ЗС (5)

Fig. 4. *AFM* diagram for rocks of the East-Hannivka zone (1 — basaltic metakomatiites, 2 — peridotitic metakomatiites, 3 — metabasalts, 4 — magnesia metabasalts) and metabasalts of Vysokopillya GS (5)

но содержание Cr — 1890; Co — 87,6 и Ni — 1350 ppm (табл. 2). Концентрация РЗЭ — 20,97 ppm. На мультиэлементной диаграмме перидотитового коматиита (обр. 86/35) выделяются отрицательные аномалии Nb, Sr и Eu (рис. 5). Концентрация РЗЭ — около 8,2 · PM. Они обогащены легкими РЗЭ — $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2,53$; $(\text{Yb}/\text{Gd})_N = 0,75$; $(\text{La}/\text{Yb})_N = 3,32$ (рис. 6; табл. 2). Перидотитовые коматииты имеют низкое значение $(\text{Nb}/\text{La})_N = 0,42$ (табл. 2), наиболее вероятно, что это — результат их метаморфизма. Характер распределения спектров РЗЭ перидотитовых метакоматиитов Восточно-Анновской полосы и Высокопольской ЗС подобен. Последние содержат несколько меньше РЗЭ (14,56), Cr (1850) и Ni (116 ppm).

Базальтовые метакоматииты (скв. 20520, обр. 87/296, 87/297; скв. 20873, обр. 87/584, 88/393) состоят из актинолита и рудного минерала (1 %). Актинолит призматической формы и содержит мелкие зерна кварца. Порода среднезернистая, структура гранобластовая. По химическому составу ($\text{SiO}_2 = 49,34-51,92\%$; $\text{TiO}_2 = 0,43-0,69$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 7,83-14,88$; $\text{MgO} = 10,73-13,92$; $\text{Na}_2\text{O} = 0,6-1,66$; $\text{K}_2\text{O} = 0,05-0,41\%$) это основная порода нормальной щелочности, низкоглиноземистая, коэффициент

Таблица 1. Химический состав пород Восточно-Анновской полосы, %
Table 1. Chemical composition of rocks of the East-Hannivka zone, %

Компонент	1/520/1	2/520/2	3/87/246	4/520/3	5/520/9	6/86/35	7/520/11	8/87/296	9/87/297	10/520/12	11/87/584	12/88/393	13/94/54
SiO ₂	49,12	47,43	47,96	48,13	45,66	48,59	51,85	49,34	49,91	49,30	51,92	51,78	50,87
TiO ₂	0,32	0,32	0,35	0,30	0,36	0,39	0,62	0,47	0,69	0,66	0,45	0,43	1,43
Al ₂ O ₃	16,31	13,76	15,81	17,55	8,14	5,29	13,78	7,83	7,98	10,57	14,88	12,06	14,81
Fe ₂ O ₃	3,24	3,35	3,41	2,90	2,23	1,73	3,42	2,65	3,96	6,44	1,34	2,84	2,92
FeO	5,46	5,24	5,90	4,14	7,85	6,26	6,99	11,95	9,36	8,07	7,33	7,50	9,99
MnO	0,17	0,18	0,14	0,12	0,01	0,17	0,17	0,26	0,27	0,28	0,15	0,19	0,21
MgO	10,84	12,13	10,40	10,22	25,71	24,67	8,07	13,28	13,92	11,24	10,73	11,00	5,05
CaO	6,88	10,43	9,43	9,58	2,05	5,75	5,21	9,97	10,30	9,16	8,68	9,36	8,54
Na ₂ O	2,14	1,80	1,60	1,89	0,13	0,01	2,43	0,64	0,60	0,96	1,66	1,42	2,49
K ₂ O	1,45	1,23	1,40	1,88	0,22	0,30	1,06	0,20	<0,05	0,41	0,40	0,13	0,86
S _{общ.}	0,58	0,22	<0,02	0,55	0,84	0,39	0,09	0,59	0,03	0,09	Сл.	Не опр.	0,02
P ₂ O ₅	<0,02	<0,02	0,08	<0,02	<0,02	0,06	<0,02	0,08	0,08	<0,02	0,09	" "	0,20
CO ₂	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,71	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,38	" "	0,74
H ₂ O ⁻	" "	" "	0,43	" "	" "	0,12	" "	0,36	0,36	" "	0,20	" "	0,01
П. п. п.	" "	" "	2,87	" "	" "	5,31	" "	2,22	2,16	" "	1,49	2,19	1,38
Сумма	99,93	99,66	99,80	99,91	99,61	99,68	99,57	99,84	99,67	99,57	99,70	98,90	99,52
K _φ , %	44,52	41,46	47,23	40,79	28,16	24,46	56,33	52,37	48,90	56,35	44,69	48,45	72,00
al'	0,83	0,66	0,80	1,02	0,23	0,16	0,75	0,28	0,29	0,41	0,77	0,57	0,82

Примечание. Скви. 20520: 1—4 — амфиболит (магнезиальный метабазальт): 1 — обр. 520/1, гл. 83 м, 2 — обр. 520/2, гл. 104 м, 3 — обр. 87/246, гл. 117,2 м, 4 — обр. 520/3, гл. 121,4 м; 5, 6 — актинолит (перидотитовый метаконатит): 5 — обр. 520/9, гл. 522,8 м, 6 — обр. 86/35, гл. 534 м; 7 — амфиболит (метабазальт), обр. 520/11, гл. 632,6 м; 8—10 — базальтовый метаконатит: 8 — обр. 87/296, гл. 651 м, 9 — обр. 87/297, гл. 657 м, 10 — обр. 520/12, гл. 658,6 м. Скви. 20873: 11, 12 — базальтовый метаконатит: 11 — обр. 87/584, гл. 276 м, 12 — обр. 88/393, гл. 287 м. Скви. 24194: 13 — амфиболит (высокожелезистый метабазальт), обр. 94/54, гл. 165,5 м). Химические анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины.

Note. Bh. 20520: 1—4 — amphibolite (magnesian metabasalts): 1 — smp. 520/1, depth 83 m, 2 — smp. 520/2, depth 104 m, 3 — smp. 87/246, depth 117.2 m, 4 — smp. 520/3, depth 121.4 m; 5, 6 — actinolite (peridotitic metakomatiite): 5 — smp. 520/9, depth 522.8 m, 6 — smp. 86/35, depth 534 m; 7 — amphibolite (metabasalt), smp. 520/11, depth 632.6 m; 8—10 — basaltic metakomatiite: 8 — smp. 87/296, depth 651 m, 9 — smp. 87/297, depth 657 m, 10 — smp. 520/12, depth 658.6 m. Bh. 20873: 11, 12 — basaltic metakomatiite: 11 — smp. 87/584, depth 276 m, 12 — smp. 88/393, depth 287 m. Bh. 24194: 13 — amphibolite (high-iron metabasalts), smp. 94/54, depth 165.5 m. Chemical analyzes were performed in the Laboratory by at IGMOF of the NAS of Ukraine.

Таблица 2. Содержание элементов в породах Кривбасса и Высокопольской ЗС, по данным ICP-MS, ppm

Table 2. Content of elements in rocks of Kryvbass and Vysokopillya GS according to ICP-MS, ppm

Элемент	1/86/35	2/87/584	3/94/54	4/86/204	5/86/207	6/91/637	7/90/176	8/88/682	9/88/683
Rb	<2,00	11,60	41,70	27,00	30,70	12	7,15	<0,20	2,53
Sr	25,00	179	171,00	186,00	173,00	140	41,80	105,00	78,60
Ba	12,40	136,00	342,00	260,00	431,00	93,80	43,90	44,20	21,30
V	116,00	159,00	221,00	321,00	234,00	224	308,00	314,00	303,00
Cr	1890,00	504,00	108,00	91,20	27,10	22,40	295,00	108,00	247,00
Co	87,60	47,40	45,30	46,90	57,20	50,30	60,50	49,00	51,90
Ni	1350,00	188,00	60,80	65,90	65,90	69,80	81,80	84,80	148,00
Cu	—	—	—	—	—	—	91,50	—	—
Zn	—	—	—	—	—	—	83,70	—	—
Ga	—	—	—	—	—	—	15,80	—	—
Y	8,47	9,81	26,40	33,10	13,40	16,50	20,60	22,40	20,00
Nb	1,57	1,97	6,08	5,57	3,06	3,76	2,02	2,39	2,20
Ta	0,11	0,13	0,73	0,39	0,22	0,27	0,14	0,17	0,15
Zr	20,60	45,10	126,00	111,00	51,40	84,50	48,90	54,40	45,90
Hf	0,72	1,27	3,25	3,20	1,71	2,39	1,27	1,53	1,58
U	0,13	0,94	1,04	0,64	0,89	0,85	<0,10	0,13	<0,10
Th	0,42	1,59	5,74	2,52	2,23	3,79	0,62	0,42	0,25
La	3,61	7,80	19,60	11,30	7,52	15,20	2,31	3,34	2,87
Ce	6,91	15,60	41,00	25,70	15,20	29,50	6,00	8,59	7,57
Pr	0,86	1,86	5,28	3,42	1,94	3,49	0,95	1,31	1,14
Nd	3,50	6,90	20,60	15,00	8,06	12,90	5,07	6,39	6,09
Sm	0,92	1,46	4,20	4,24	2,01	2,98	1,91	2,33	2,01
Eu	0,23	0,49	1,22	1,34	0,79	0,80	0,63	0,74	0,66
Gd	1,26	1,47	4,69	4,72	2,14	2,90	2,40	2,81	2,59
Tb	0,25	0,23	0,78	0,85	0,41	0,49	0,46	0,56	0,50
Dy	1,41	1,62	5,05	6,02	2,54	3,03	3,33	3,77	3,62
Ho	0,28	0,37	1,01	1,20	0,54	0,65	0,75	0,81	0,81
Er	0,74	0,94	2,71	3,71	1,42	1,76	2,40	2,51	2,19
Tm	0,11	0,16	0,42	0,52	0,19	0,25	0,34	0,35	0,30
Yb	0,78	1,02	2,62	3,37	1,27	1,58	2,28	2,55	2,09
Lu	0,11	0,14	0,38	0,51	0,19	0,20	0,36	0,36	0,33
Mo	—	—	—	—	—	—	0,98	—	—
Sn	—	—	—	—	—	—	0,68	—	—
Cs	—	—	—	—	—	—	0,43	—	—
W	—	—	—	—	—	—	0,36	—	—
Pb	—	—	—	—	—	—	0,82	—	—
ΣREE	20,97	40,06	109,56	81,90	44,22	75,73	29,19	36,42	32,77
(La/Yb) _N	3,32	5,49	5,37	2,41	4,25	6,90	0,73	0,94	0,99
(La/Sm) _N	2,53	3,45	3,01	1,72	2,42	3,29	0,78	6,05	0,92
(Yb/Gd) _N	0,75	0,84	0,68	0,86	0,72	0,66	1,15	1,10	0,98
Eu/Eu*	0,65	1,02	0,84	0,92	1,17	0,83	0,90	0,88	0,88
(Nb/La) _N	0,42	0,24	0,31	0,49	0,41	0,25	0,87	0,72	0,77
ΔNb	—	-0,23	-0,20	-0,04	-0,02	-0,26	0,01	0,03	0,09
Zr/Y	—	—	4,77	3,35	3,84	5,12	2,37	2,43	2,30

Примечание. Восточно-Анновская полоса: 1 — перidotитовый метакоматиит, обр. 86/35, скв. 20520, гл. 534 м; 2 — базальтовый метакоматиит, обр. 87/584, скв. 20520, гл. 534 м; 3 — высокожелезистый метабазацит, обр. 94/54, скв. 24194, гл. 165,5 м. Саксаганская синклиналь: 4—6 — амфиболит: 4 — шахта Родина, гор. 1240 м, обр. 86/204, 5 — там же, обр. 86/207, 6 — Криворожская ГТС, гл. 4335,8 м, обр. 91/637. Высокопольская ЗС: 7—9 — метабазацит, сурская свита: 7 — скв. 21122, гл. 217 м, обр. 90/176, 8 — скв. 22325, гл. 262,5 м, обр. 88/682, 9 — там же, гл. 468,5—470,5 м, обр. 88/683.

Note. East-Hannivka zone: 1 — peridotite metakomatiite, smp. 86/35, bh. 20520, depth 534 m; 2 — basalt metakomatiite, smp. 87/584, bh. 20520, depth 534 m; 3 — high-iron metabasalt, smp. 94/54, bh. 24194, depth 165.5 m. Saxagan area: 4—6 — amphibolite: 4 — mine Rodina, horizon 1240 m, smp. 86/204, 5 — the same, smp. 86/207, 6 — Kryvyi Rih KGR, depth 4335.8 m, smp. 91/637. Vysokopillya GS: 7—9 — metabasalt, Sura suites: 7 — bh. 21122, depth 217 m, smp. 90/176, 8 — bh. 22325, depth 262.5 m, smp. 88/682, 9 — the same, depth 468.5—470.5 m, smp. 88/683.

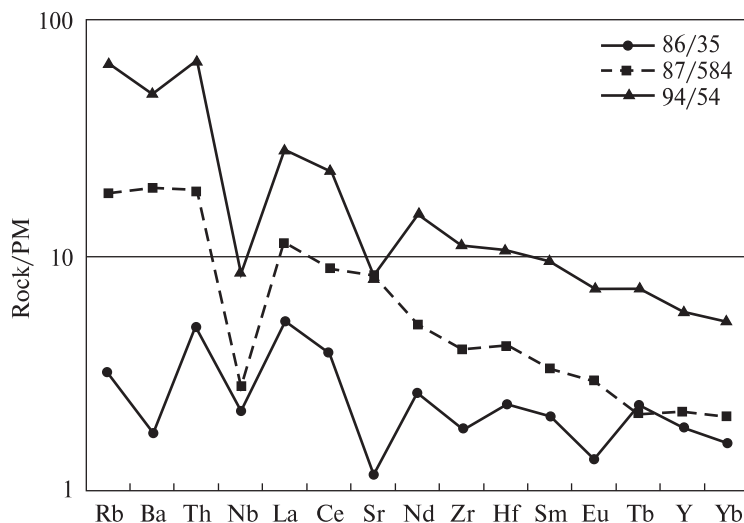
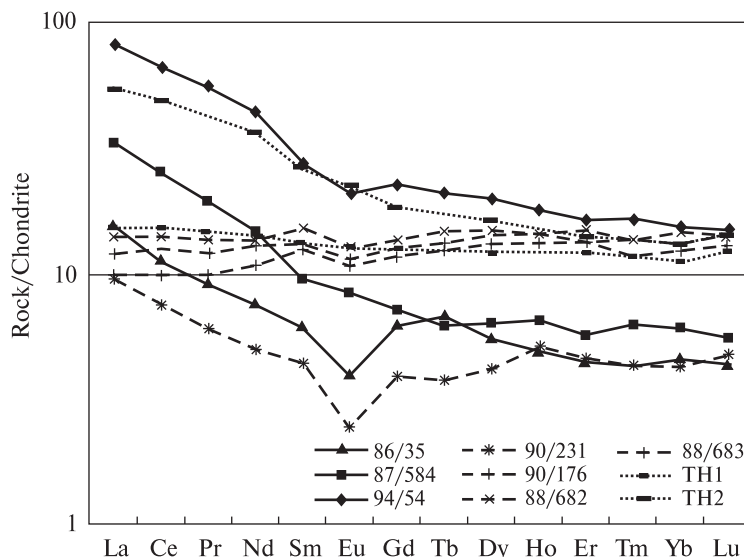


Рис. 5. Мультиэлементная диаграмма для перидотитового (обр. 86/35) и базальтового (обр. 87/584) коматиитов и высокожелезистого амфиболита (обр. 94/54) Восточно-Анновской полосы. Нормирование на примитивную мантию [20]

Fig. 5. Multielement diagram for peridotite (smp. 86/35) and basaltic (smp. 87/584) komatiites and high-iron amphibolites (smp. 94/54) of the East-Hannivka zone. Rationing on the primitive mantle [20]

Рис. 6. Графики распределения РЗЭ перидотитового (обр. 86/35) и базальтового (обр. 87/584) коматиитов, высокожелезистого амфиболита (обр. 94/54) Восточно-Анновской полосы и метабазальтов (обр. 90/176, 88/682, 88/683) и перидотитового коматиита (обр. 90/231) Высокопольской ЗС. Нормирование на хондрит C1 [20]. TH 1 и TH 2 — архейские базальты зеленокаменных поясов, по К. Конди [6]

Fig. 6. REE distribution graphs for peridotite- (sample 86/35) and basalt- (sample 87/584) komatiites, high-iron amphibolite (sample 94/54) of the East-Hannivka zone and metabasalts (sample 90/176, 88/682, 88/683) and peridotite komatiites (sample 90/231) of Vysokopillya GS. Rationing on C1 chondrite [20]. TH 1 and TH 2 — Archean greenstone belts basalts by K. Condie [6]



железистости (K_{ϕ}) — 44,7—52, % [10] (табл. 1). В них высокое содержание Cr (504) и Ni (188 ppm) (табл. 2). На диаграмме Zr/Y — Nb/Y фигуративная точка их состава расположена в поле базальтов океанического плато, что свидетельствует об образовании их расплава из плюмового источника (рис. 6). Концентрация РЗЭ — 40,06 ppm. На мультиэлементной диаграмме базальтового коматиита (обр. 87/584) выделяются отрицательная аномалия Nb и положительные Sr и Eu (рис. 5). Распределение РЗЭ дифференцированное — $(La/Yb)_N = 5,49$. Обогащенность их легкими РЗЭ $((La/Sm)_N = 3,45, (Yb/Gd)_N = 0,84)$ обусловлена, вероятно, наложенными процессами (рис. 6; табл. 2).

Высокомагнезиальные амфиболиты (метабазальты, скв. 20520, обр. 520/1-520/3, 87/246) актинолит-плагиоклазового состава содержат:

SiO₂ — 47,43—49,12 %; TiO₂ — 0,3—0,35; Al₂O₃ — 13,76—17,55; MgO — 10,22—12,13; Na₂O — 1,6—2,14; K₂O — 1,23—1,88 % (табл. 1). Это умеренно- и высокоглиноземистая основная порода нормальной щелочности с повышенным содержанием MgO [10]. Их K_{ϕ} варьирует от 40,8 до 47,23 %. Отличаются от метаморфизованных базальтовых коматиитов более высоким содержанием Al₂O₃, Na₂O, K₂O и более низким TiO₂ + FeO_t (диаграммы 2 и 3, табл. 1).

Амфиболиты (метабазальты, скв. 20520, обр. 520/11) актинолит-биотит-плагиоклаз-кварцевого состава. По химическому составу (SiO₂ — 51,85 %; TiO₂ — 0,62; Al₂O₃ — 13,78; MgO — 8,07; Na₂O — 2,43; K₂O — 1,06 %) это основная порода нормальной щелочности, низкоглиноземистая, $K_{\phi} = 56,33$ % [10] (табл. 1).

Высокожелезистые амфиболиты (метабаза-
лты, скв. 24194, обр. 94/54) состоят из светло-
зеленого амфибола актинолит-тремолитового
ряда (45 %), кварца (35), плагиоклаза (10),
биотита (10 %) и единичных зерен рудного
минерала. Порода среднезернистая, структура
лепидогранобластовая. По химическому со-
ставу (SiO_2 — 50,87 %; Al_2O_3 — 14,81; CaO —
8,54; Na_2O — 2,49; K_2O — 0,86 %) это основ-
ная нормально-щелочная порода [10]. Она име-
ет несколько повышенное содержание TiO_2
(1,43 %) и низкое MgO (5,05 %). Порода ха-
рактеризуется высоким $K_\phi = 72$ %, умерен-
ноглиноземистая (табл. 1). Характерно такое
содержание переходных элементов: V —
221 ppm; Cr — 108; Co — 45,3; Ni — 60,8 ppm,
высокозарядных: Y — 26,4 ppm; Nb — 6,08;
Ta — 0,73; Zr — 126; Hf — 3,25 ppm (табл. 2). На
мультиэлементной диаграмме высокожелезистых
метабаза-лтов выделяются отрицательные
аномалии Nb, Sg и Eu (рис. 5). Распределение
РЗЭ дифференцированное — $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5,37$;
 $\Sigma\text{РЗЭ} = 109,56$ ppm. На диаграмме Zr/Y —
Nb/Y фигуративная точка их состава распо-
ложена в поле базальтов океанического плато,
что указывает на образование их расплава из
плумового источника (рис. 7).

Саксаганский район (длина ~30 км и ширина
1,5—2,5 км) характеризуется сложноскладчатой
структурой с развитием сжатых и опро-
кинутых на восток складок, простирающихся
в северо-северо-восточном направлении [1, 3,
5]. Они осложнены поперечными антикли-
нальными или флексурными изгибами (рис. 1),
выделяются также несколько крупных про-
дольных тектонических разрывов. Амфиболиты
новокриворожской свиты залегают в осно-
вании разреза криворожской серии и окайм-
ляют все складчатые структуры Кривбасса. В
северной части саксаганской синклинали, в рай-
оне рудника им. Ленина, они достигают мощ-
ности 1200 м. В нижней части разреза залегают
черно-зеленые амфиболиты с гранобластовой,
лепидогранобластовой, реже порфиробласто-
вой структурами. Согласно [9], они представ-
лены базальтами и андезито-базальтами.

Из этого района изучены образцы амфи-
болитов из шахт Родина и им. Ленина (скв. 17814)
и из Криворожской сверхглубокой скважины
(СГ-8).

Участок шахта им. Ленина. Скв. 17814 с гори-
зонта 1200 м пересекла кварциты и сланцы сак-
саганской и скелеватской свит и в интервале

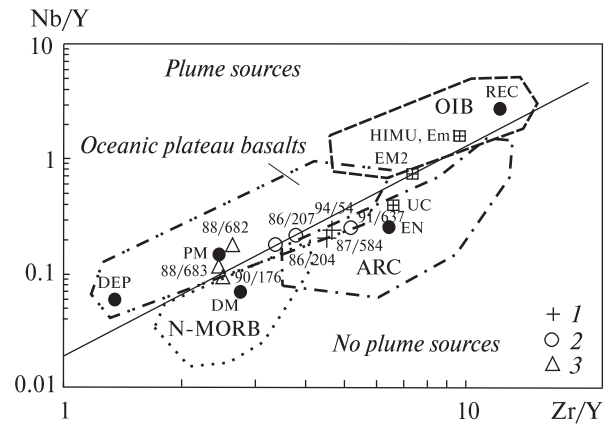


Рис. 7. Диаграмма Zr/Y — Nb/Y [15] для амфиболитов
Восточно-Анновской полосы (1), Саксаганского рай-
она (2) и метабаза-лтов Высокопольской ЗС (3)

Fig. 7. Zr/Y — Nb/Y diagram [15] for amphibolites of the
East-Hannivka zone (1), Saxagan area (2) and metabasalts
of Vysokopillya GS (3)

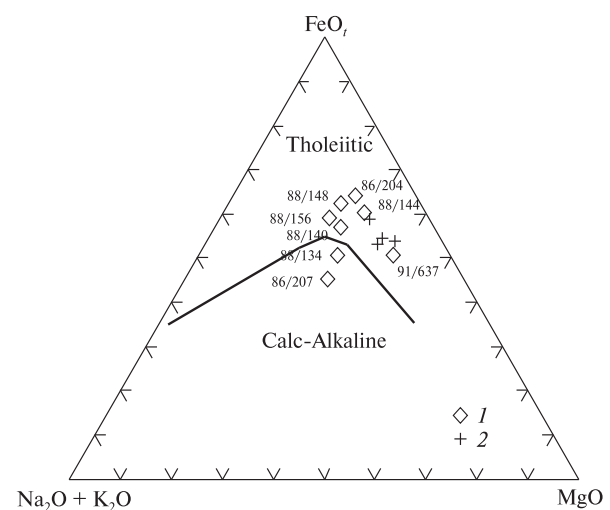


Рис. 8. Диаграмма AFM для амфиболитов Саксаган-
ской синклинали (1) и метабаза-лтов Высокополь-
ской ЗС (2)

Fig. 8. AFM diagram for amphibolites of Saxagan area (1)
and metabasalts of Vysokopillya GS (2)

465,2—601,0 м вскрыла амфиболиты (высоко-
железистые метабаза-лты). В керне амфиболитов
наблюдаются зеркала скольжения, зоны трещи-
новатости, брекчирования, рассланцевания, а
также зоны с сульфидной минерализацией.
Им свойственны процессы амфиболитизации,
окварцевания и карбонатизации. В некоторых
интервалах амфиболиты разбиты на отдельные
блоки ветвящимися разноориентированными
прожилками кварцевого и кварц-карбонатного
состава мощностью от 1 до 4—5 мм.

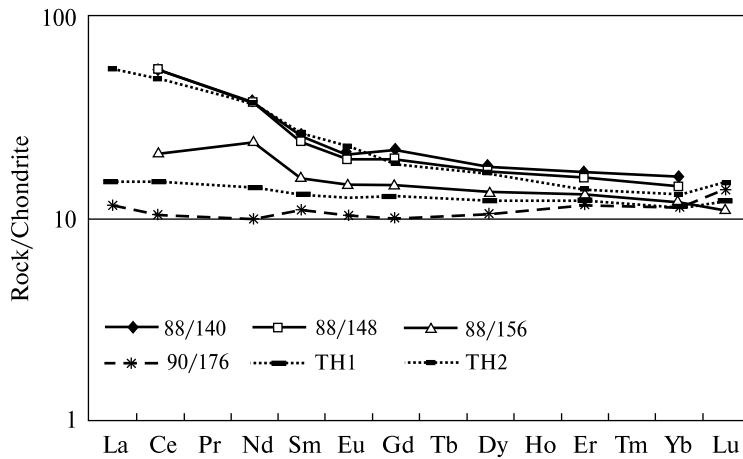


Рис. 9. Графики распределения РЗЭ амфиболитов участка шахта им. Ленина (обр. 88/140, 88/148, 88/156/1). Для сравнения приведен спектр РЗЭ метабазальтов Высокопольской ЗС (обр. 90/176). Нормирование на хондрит C1 [20]. Содержание РЗЭ определено методом изотопного разбавления на масс-спектрометре МИ-1320 в лаборатории ИГМР НАН Украины

Fig. 9. REE distribution graphs for amphibolites of Lenina mine (sample 88/140, 88/148, 88/156/1). For comparison, show the spectra of REE metabasalts of Vysokopillya GS (sample 90/176). Rationing on C1 chondrite [20]. REE content was determined by isotope dilution on mass-spectrometer MI-1320 in the Laboratory of IGMOF of the NAS of Ukraine

Для геохимических исследований отобраны образцы амфиболитов 88/134, 88/140, 88/144, 88/148, 88/156. Они неравнозернистые (с порфировыми вкраплениями кварца и амфибола), структура их лепидогранобластовая. Состоят из амфибола (80 %) актинолит-тремолитового ряда и роговой обманки, кварца (10–15), рудного минерала (1–5), биотита (ед. зерна – 5 %) и сдвойникового плагиоклаза основного состава (ед. зерна). Они отличаются повышенным содержанием SiO_2 (50,6–55,54 %), низким – MgO (4,3–6,37) и CaO (7,4–9,5), $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2,65\text{--}4,4$ %. На диаграмме *AFM* фигуративные точки их состава находятся в поле пород толеитовой серии, кроме обр. 88/134, который попадает в поле известково-щелочных пород (SiO_2 – 52,77, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,4$ %, рис. 8; табл. 3). Амфиболиты умеренно- и низкоглиноземистые, высокожелезистые ($K_{\text{ф}} = 65,2\text{--}75,4$ %) (табл. 3; рис. 3).

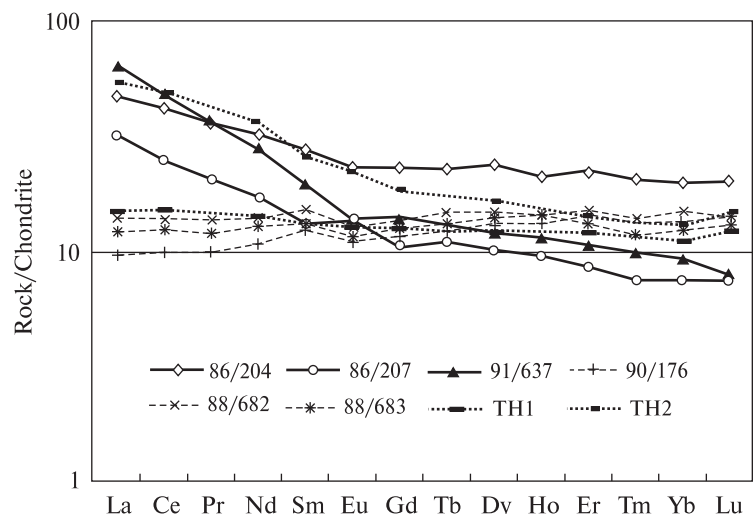
В обр. 88/156 наблюдается меньшее содержание легких РЗЭ, чем в обр. 88/140 и 88/148

(табл. 4; рис. 9). Он отличается меньшим содержанием Al_2O_3 (12,80 %), CaO (7,40), большим K_2O (0,94) и величиной K/Rb отношения (260). Содержит больше нормативного Or (5,56 %) и меньше An (19,13) (табл. 3–5). Эти данные свидетельствуют о подвижности легких РЗЭ в базитах в результате наложенных метаморфических процессов. По характеру распределения РЗЭ и величине Zr/Y отношения высокожелезистые толеитовые метабазиты участка шахта им. Ленина подобны архейским базальтам зеленокаменных поясов типа ТН 2, по К. Конди [6].

Криворожская СГС. Амфиболит (обр. 91/637) крупнозернистый, структура его лепидогранобластовая. Минеральный состав, %: амфибол актинолит-тремолитового ряда (80), кварц (17), биотит (2) и рудный минерал (1). По химическому составу (SiO_2 – 55,54 %; Na_2O – 1,8; K_2O – 0,62; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2,42$ %) это основная порода нормальной щелочности (табл. 1). Характерно повышенное содержание SiO_2 и

Рис. 10. Графики распределения РЗЭ амфиболитов участка шахта Родина (обр. 86/204, 86/207) и Криворожской СГС (обр. 91/637). Нормирование на хондрит C1 [20]

Fig. 10. REE distribution graphs for amphibolites of Rodina mine (smp. 86/204, 86/207) and Kryvyi Rih ultradeep borehole (smp. 91/637). Rationing on C1 chondrite [20]



низкое MgO (6,36 %). Порода умеренноглиноземистая, $K_{\phi} = 61,3$ %. Распределение РЗЭ сильно дифференцированное $(La/Yb)_N = 6,90$. Наблюдается обогащение легкими РЗЭ — $(La/Sm)_N = 3,29$; $(Yb/Gd)_N = 0,66$ (рис. 10), которое обусловлено, вероятно, их привнесом при метаморфизме. На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ фигуративная точка их состава попадает в поле базальтов океанического плато (рис. 7).

Участок шахта Родина (гор. 1240 м). Амфиболит (обр. 86/204) неравномернозернистый, структура его гранобластовая. Состоит из амфибола (80 %) актинолит-тремолитового ряда и роговой обманки, кварца (5), биотита (5) и рудного минерала (10 %). По химическому составу ($SiO_2 - 49,38$ %; $Al_2O_3 - 12,38$; $TiO_2 - 1,91$; $MgO - 6,28$; $CaO - 8,42$; $Na_2O + K_2O = 3,60$ %, $K_{\phi} = 71,34$ %) это основная порода

нормальной щелочности, низкоглиноземистая и высокожелезистая (табл. 3). На диаграмме *AFM* они попадают в поле пород толеитовой серии (рис. 8). Для них характерно такое содержание переходных элементов: V — 321 ppm; Cr — 91,2; Co — 46,9; Ni — 65,9 ppm, высокозарядных: Y — 33,1 ppm; Nb — 5,57; Ta — 0,39; Zr — 111; Hf — 3,2 ppm (табл. 2). Содержание РЗЭ — 81,9 ppm (табл. 2). Распределение РЗЭ дифференцированное — $(La/Sm)_N = 1,72$; $(Yb/Gd)_N = 0,86$; $(La/Yb)_N = 2,41$.

Амфиболит (обр. 86/207) крупнозернистый, структура его гранобластовая. Состоит из амфибола актинолит-тремолитового ряда (70 %) и роговой обманки, кварца (15), биотита (10), плагиоклаза (2) и рудного минерала (1–2 %). Плагиоклаз основного состава, сдвойникован. По химическому составу ($SiO_2 - 50,80$ %;

Таблица 3. Химический состав амфиболитов Саксаганского района и Высокопольской ЗС, %
Table 3. Chemical composition of amphibolites of Saxagan area and Vysokopillya GS, %

Компонент	1/88/134	2/88/140	3/88/144	4/88/148	5/88/156	6/91/637	7/86/204	8/86/207	9/90/176	10/88/682	11/88/683
SiO ₂	52,77	51,10	50,60	54,20	53,50	48,34	49,38	50,80	47,95	50,58	49,44
TiO ₂	0,91	1,34	1,05	1,12	1,04	1,43	1,91	0,47	0,76	0,80	1,04
Al ₂ O ₃	13,80	14,30	13,65	14,38	12,80	13,66	12,38	13,60	16,31	14,04	14,02
Fe ₂ O ₃	1,52	1,00	3,29	3,04	2,20	1,18	3,03	>0,10	1,87	1,79	1,26
FeO	9,72	10,10	11,00	10,15	10,90	11,01	12,60	11,52	10,65	11,94	11,30
MnO	0,16	0,28	0,22	0,18	0,34	0,27	0,25	0,27	0,21	0,10	0,24
MgO	6,00	4,90	6,00	4,30	4,80	6,26	6,28	7,74	7,53	6,35	8,14
CaO	8,50	8,30	9,50	8,30	7,40	8,98	8,42	6,37	9,92	9,58	10,85
Na ₂ O	4,00	2,90	2,10	2,30	2,90	1,80	2,85	5,14	2,34	2,10	1,37
K ₂ O	0,40	0,64	0,55	0,60	0,94	0,62	0,75	2,18	0,20	0,40	0,30
S _{общ.}	—	0,16	—	—	0,11	0,14	0,12	>0,02	0,08	0,15	0,16
P ₂ O ₅	0,05	0,17	0,10	0,10	0,14	0,22	0,18	0,03	0,10	0,12	0,09
CO ₂	—	2,69	—	—	1,15	—	0,28	Не опр.	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,23	Сл.	0,10	0,05	0,20	0,02	0,01	0,06	0,03	0,12	0,12
П. п. п.	2,05	1,61	1,50	1,40	1,45	5,68	1,40	1,96	1,41	1,61	1,78
Сумма	100,11	99,60	99,66	100,12	99,95	99,61	99,83	100,14	99,57	99,68	100,11
K _φ , %	65,20	69,38	70,43	75,41	73,00	61,29	71,34	60,02	62,44	68,38	60,68
al ¹	0,80	0,89	0,67	0,82	0,72	0,88	0,57	0,70	0,81	0,70	0,68

Примечание. Саксаганская синклираль, амфиболиты: 1–5 — шахта им. Ленина, гор. 1200 м, скв. 17814 со ствола: 1 — гл. 474,5–474,7 м, обр. 88/134, 2 — гл. 501,2–501,3 м, обр. 88/140, 3 — гл. 507–507,1 м, обр. 88/144, 4 — гл. 512,7 м, обр. 88/148, 5 — гл. 562,8–563 м, обр. 88/156; 6 — Криворожская СГС, гл. 4335,8 м, обр. 91/637; 7, 8 — шахта Родина, гор. 1240 м: 7 — обр. 86/204, 8 — обр. 86/207. Высокопольская ЗС, миндалекаменные амфиболиты: 9 — скв. 21122, гл. 217 м, обр. 90/176, 10 — скв. 22325, гл. 262,5 м, обр. 88/682, 11 — скв. 22325, гл. 468,5–470,5 м, обр. 88/683. Химические анализы выполнены в лаборатории ИГМР НАН Украины.

Note. Saxagan area, amphibolites: 1–5 — bh. 17814 from horizon 1200 of Lenin mine: 1 — int. 474.5–474.7 m (smp. 88/134), 2 — int. 501.2–501.3 m (smp. 88/140), 3 — int. 507–507.1 m (smp. 88/144), 4 — int. 512.7 m (smp. 88/148), 5 — int. 562.8–563 m (smp. 88/156); 6 — Kryvyi Rih KGR, depth 4335.8 m (smp. 91/637); 7, 8 — Rodina mine, horizon 1240 m: 7 — smp. 86/204, 8 — smp. 86/207. Vysokopillya GS, amygdaloidal amphibolites: 9 — bh. 21122, depth 217 m (smp. 90/176), 10 — bh. 22325, depth 262.5 m (smp. 88/682), 11 — bh. 22325, int. 468.5–470.5 m (smp. 88/683). Chemical analyzes were performed in the Laboratory at IGMOF of the NAS of Ukraine.

Al_2O_3 — 13,6; TiO_2 — 0,47; MgO — 7,74; CaO — 6,37; $Na_2O + K_2O = 7,32$ %) это основная порода субщелочного ряда, низкоглиноземистая, $K_{\phi} = 60,02$ % (табл. 3). На диаграмме *AFM* попадает в поле пород известково-щелочной серии (рис. 8). По сравнению с обр. 86/204, в нем выше содержание щелочей, Ba (431 ppm), высокозарядных элементов (Y — 13,4 ppm; Nb — 3,06; Ta — 0,22; Zr — 51,4; Hf — 1,71 ppm) и меньше — V (234 ppm) и Cr (27,1). В его нормативном составе рассчитаны нефелин (13,51 %) и оливин (19), содержится значи-

Таблица 4. Содержание элементов в метабазах шахты им. Ленина (скв. 17814) Саксаганского района и Высокопольской ЗС, г/т
Table 4. The content of elements in the metabasites of the Lenin mine (bh. 17814) of Saxagan area and Vysokopillya GS, ppm

Компонент	1/88/140	2/88/148	3/88/156	4/90/176
Rb	24	23	30	—
Sr	174	224	263	—
Zr	124	142	117	—
La	—	—	—	2,716
Ce	32,92	32,78	12,90	6,327
Nd	17,23	17,53	11,07	4,613
Sm	3,846	3,640	2,437	1,672
Eu	1,190	1,132	0,845	0,593
Gd	4,493	4,007	3,018	2,089
Dy	4,549	4,318	3,416	2,639
Er	2,748	2,609	2,190	1,952
Yb	2,716	2,455	2,032	1,925
Lu	—	0,184	0,279	0,354
Ce_N/Yb_N	3,1	3,5	1,7	0,9
Ce_N/Sm_N	2,1	2,2	1,3	0,9
Yb_N/Gd_N	0,8	0,8	0,8	1,1
Eu/Eu*	0,88	0,91	0,95	0,97
K/Rb	240	216	260	—

Примечание. Скв. 17814, гор. 1200 м, шахта им. Ленина: 1—3 — *амфиболит*: 1 — гл. 501,2—501,3 м, обр. 88/140, 2 — гл. 512,7 м, обр. 88/148, 3 — гл. 562,8—563 м, обр. 88/156. Высокопольская ЗС: 4 — *метабаза*, сурская свита, скв. 21122, гл. 217 м, обр. 90/176. РЗЭ определены методом изотопного разбавления в ИГМР НАН Украины. Rb, Sr, Zr — методом РФА в лаборатории ИГН НАН Украины.

Note. Bh. 17814, from horizon 1200 m of Lenin mine: 1—3 — *amphibolite*: 1 — depth 501.2—501.3 m, smp. 88/140, 2 — depth 512.7 m, smp. 88/148, 3 — depth 562.8—563 m, smp. 88/156. Vysokopillya GS: 4 — *metabasalt*, Sura suite, bh. 21122, depth 217 m, smp. 90/176. REE were determined by isotope dilution at IGMOF of the NAS of Ukraine. Rb, Sr, Zr were determined by XRF Laboratory of IGN of the NAS of Ukraine.

тельно больше Og и меньше Ab и An (табл. 5). Геохимические данные и минеральный состав указывают на большую степень измененности состава амфиболита обр. 86/207, чем обр. 86/204.

Распределение РЗЭ амфиболита сильно дифференцированное — $(La/Sm)_N = 2,42$; $(Yb/Gd)_N = 0,72$; $(La/Yb)_N = 4,25$ (рис. 10; табл. 2). Низкая величина отношения $(Nb/La)_N = 0,41$ — $0,49$ указывает на контаминацию их расплава коровым материалом (табл. 2). На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ фигуративные точки их состава расположены в поле базальтов океанического плато, что свидетельствует об образовании их расплава из плюмового источника (рис. 7).

Таким образом, в результате наложенных процессов в амфиболите обр. 86/207 наблюдается существенное уменьшение содержания CaO, высокозарядных элементов, РЗЭ и увеличение — SiO_2 , Na_2O и K_2O . Согласно [2], к понижению содержания всего спектра РЗЭ в амфиболитах может привести регрессивное изменение амфиболов.

Выводы. Согласно петрогеохимическим данным, метабаза в Кривбассе имеет неоднородное строение. В Восточно-Анновской полосе она включает коматииты (перидотитовые и базальтовые) и толеитовые базальты (магнезиальные, нормальные и высокожелезистые). По геохимическим особенностям перидотитовые метакоматииты сопоставимы с метакоматиитами КТ формации зеленокаменных структур Среднеприднепровского мегаблока (сурская свита), а высокожелезистые толеитовые базальты — с базальтами архейских зеленокаменных поясов типа ТН 2.

Амфиболиты Саксаганского района — это метаморфизованные высокожелезистые толеитовые базальты. По геохимическим характеристикам они подобны архейским базальтам зеленокаменных поясов типа ТН 2. Некоторые образцы метабазита оказались в поле известково-щелочных пород, в их нормативном составе рассчитаны нефелин и оливин. Очевидно, вторичные изменения в них проявились более интенсивно.

Амфиболиты Саксаганского района отличаются от амфиболитов Высокопольской ЗС меньшим содержанием MgO , CaO , литофильных (Rb, Sr, Ba) и большим — высокозарядных (Nb, Ta, Zr, Hf, U, Th) элементов и ЛРЗЭ.

На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ метабазиты Восточно-Анновской полосы и Саксаганского ра-

Таблица 5. Нормативный состав минералов (CIPW) амфиболитов Саксаганского района и Высокопольской ЗС
Table 5. CIPW norm calculation for amphibolites of Saxagan zone and Vysokopillya GS

Номер образца	Q	Or	Ab	An	Ne	Di	Hу	Ol	Mt	Il	Ap
88/140	7,22	3,78	24,54	23,06	—	—	28,23	—	1,45	2,54	0,39
88/148	10,85	3,55	19,46	27,14	—	11,19	19,72	—	4,41	2,13	0,23
88/156	7,79	5,56	24,54	19,13	—	7,87	25,12	—	3,19	1,98	0,32
86/204	—	4,52	24,61	19,14	—	18,51	23,10	1,66	4,26	3,70	0,40
86/207	—	13,09	19,26	7,71	10,6	19,87		19,01	3,02	0,91	0,07
91/637	4,55	3,90	16,23	29,13	—	13,85	25,31	—	3,51	2,89	0,51
90/176	—	1,21	20,23	34,12	—	12,74	18,84	7,80	3,26	1,47	0,22
88/682	3,26	2,42	18,16	28,30	—	16,15	26,25	—	3,55	1,55	0,27
88/683	2,76	1,81	11,81	31,80	—	18,40	27,76	—	3,35	2,01	0,20

Примечание. Символы минералов: Ab — альбит, An — анортит, Ap — апатит, Di — диопсид, Hу — гиперстен, Il — ильменит, Mt — магнетит, Ne — нефелин, Ol — олигоклаз, Or — ортоклаз, Q — кварц.

Note. Symbols of minerals: Ab — albite, An — anorthosite, Ap — apatite, Di — diopside, Hу — hypersthene, Il — ilmenite, Mt — magnetite, Ne — nepheline, Ol — oligoclase, Or — orthoclase, Q — quartz.

йона попадают в поле базальтов океанического плато, что свидетельствует об образовании их расплавов из плюмового источника. Фигуративные точки состава метабазатов Кривбасса формируют свою область ($Zr/Y = 3,35-5,12$), отдельную от метабазатов Высокопольской ЗС, для которых $Zr/Y = 2,3-2,43$. Согласно этим данным, метабазиты Кривбасса и вулканиды коматиит-толеитовой формации зеленокаменных структур Среднеприднепровского мегаблока могли сформироваться в течение одного этапа магматизма, связанного с

подъемом мантийного плюма в мезоархее (3,2–3,0 млрд лет).

В результате процессов амфиболитизации, окварцевания и биотитизации в метабазитах и метакоматиитах Кривбасса наблюдается принос SiO_2 , Na_2O , K_2O , Rb и обеднение — MgO, CaO и PЗЭ. Метабазиты характеризуются небольшими отрицательными значениями ΔNb ($-0,02 \div -0,26$), малой величиной $(Nb/La)_N$ ($0,25-0,49$), что свидетельствует об их метаморфизме и/или контаминации первичных расплавов коровым материалом.

ЛИТЕРАТУРА

- Акименко Н.М., Белевцев Я.Н., Горошников Б.И., Дубинкина Р.П., Ищенко Д.И., Каршенбаум А.П., Кулишов М.П., Лященко К.П., Максимович В.Л., Скуридин С.А., Сироштан Р.И., Тохтубе Г.В., Фоменко В.Ю., Щербакова К.Ф. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна. — М.: Госгеолтехиздат, 1957. — 278 с.
- Другова Г.М., Скублов С.Г. Геохимия редкоземельных элементов в метаморфических амфиболах // Геохимия. — 2003. — № 2. — С. 172–180.
- Железисто-кремнистые формации Украинского щита / Отв. ред. Н.П. Семененко. — Киев: Наук. думка, 1978 — Т. 2. — 365 с.
- Змиевский Г.Е., Паранько И.С., Золотарева Л.И. Комплексное геологическое изучение района бурения Криворожской сверхглубокой скважины (вторая очередь, ГИП 2: (заключ. отчет) / Поисково-съёмоч. отряд Криворож. ГРЭ. — Кривой Рог, 1990.
- Каляев Г.И. Тектоника докембрия Украинской железорудной провинции. — Киев: Наук. думка, 1965. — 190 с.
- Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. — М.: Мир, 1983. — 390 с.
- Коноваленко Н.О., Бутирин В.К., Паранько И.С. Особливості будови східного контакту метавулканогенно-осадової товщі Криворізького басейну з вмiщуючими гранітоїдами // Геол.-мінерал. вісн. — 2005. — № 2. — С. 13–19.
- Корженев М.Н., Покалюк В.В. Геохимические особенности метабазатов Криворожского бассейна // Докл. АН Украины. — 1993. — № 1. — С. 70–74.
- Кулиш Е.А., Покалюк В.В., Яценко В.Г., Великанова О.Ю. Вулканизм и седиментогенез зеленокаменного этапа раннедокембрийской истории Кривбасса. — Киев, 2008. — 146 с.
- Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография / Гл. ред. О.А. Богатиков. — М.: Наука, 1983. — Т. 1, ч. 2. — С. 366–767.

11. Малюк Б.И., Колий В.Д., Паранько И.С. Петрохимическое сопоставление метавулканитов криворожской и конкско-верховцевской серий // Сов. геология. — 1991. — № 11. — С. 65—70.
12. Никольский А.П. Соотношение плагиогранитов с породами криворожской и курской серий // Сов. геология. — 1990. — № 3. — С. 67—70.
13. Паранько И.С., Бутирин В.К., Козар М.А. До питання про стратиграфічне розчленування метавулканогенно-осадових відкладів Криворізької структури // Мінер. ресурси України. — 2005. — № 3. — С. 35—40.
14. Степанюк Л.М., Бобров О.Б., Паранько И.С., Пономаренко О.М., Сергеев С.А. Генезис та вік циркону із амфіболіту новокриворізької світи Криворізької структури // Мінерал. журн. — 2011. — 33. — № 3. — С. 69—76.
15. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н., Змиевский Г.Е., Татарина Е.А. Возраст осадочно-вулканогенных формаций Восточно-Анновской полосы // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1989. — № 2. — С. 29—35.
16. Baksi A.K. Search for a deep mantle component in mafic lava using Nb-Y-Zr plot // Can. J. Earth Sci. — 2001. — 38. — P. 813—834.
17. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. — 2005. — 79. — P. 491—504.
18. Fitton J.G., Sunders A.D., Norry M.J., Hardarson B.S., Taylor R.N. Thermal and chemical structure of the Iceland plume // Earth and Planet. Sci. Lett. — 1997. — 133. — P. 197—208.
19. Jensen L.S. A New Cation Plot for Classifying Subalkaline Volcanic Rocks. — Ontario : Div. Mines, MP66, 1976. — 22 p.
20. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the Ocean Basins / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. — 1989. — P. 313—345. — (Geol. Soc. Spec. Publ. ; No 42).

Поступила 19.01.2015

REFERENCES

1. Akimenko, N.M., Belevcev, Ja.N., Goroshnikov, B.I., Dubinkina, R.P., Ishhenko, D.I., Karshenbaum, A.P., Kuli-shov, M.P., Ljashhenko, K.P., Maksimovich, V.L., Skuridin, S.A., Sirosthan, R.I., Tohtuev, G.V., Fomenko, V.Ju. and Shcherbakova, K.F. (1957), *Geologicheskoe stroenie i zheleznye rudy Krivorozhskogo bassejna*, Gosgeoltekhizdat, Moscow, 278 p.
2. Drugova, G.M. and Skublov, S.G. (2003), *Geohimija*, Moscow, No 2, pp. 172-180.
3. Semenenko, N.P. (ed.), (1978), *Zhelezisto-kremnistye formacii Ukrainського shhita*, Vol. 2, Nauk. dumka, Kyiv, Ukraine, 365 p.
4. Zmievskij, G.E., Paran'ko, I.S. and Zolotareva, L.I. (1990), *Kompleksnoe geologicheskoe izuchenie rajona burenija Kriorozhskoj sverhglubokoj skvazhiny (vtoraja ochered', GIP 2)*, Zakl. otchet, Poiskovo-s'emochnyj otrjad Krivorozhskoj GRJe, Krivoj Rog.
5. Kaljaev, G.I. (1965), *Tektonika dokembrija Ukrainської zhelezorudnoj provincii*, Nauk. dumka, Kyiv, Ukraine, 190 p.
6. Condie, K. (1983), *Arhejskie zelenokamennye pojasa*, Mir, Moskow, Russia, 390 p.
7. Konovalenko, N.O., Butirin, V.K. and Paran'ko, I.S. (2005), *Geologo-mineralogichnij visnik*, No 2, pp. 13-19.
8. Korzhnev, M.N. and Pokaljuk, V.V. (1993), *Dokl. Akad. nauk Ukrainy*, No 1, pp. 70-74.
9. Kulish, E.A., Pokaljuk, V.V., Jacenko, V.G. and Velikanova, O.Ju. (2008), *Vulkanizm i sedimentogenez zelenokamennogo jetapa rannedokembrijskoj istorii Krivbassa*, Kyiv, Ukraine, 146 p.
10. Bogatkov, O.A. (ed.) (1983), *Magmaticheskie gornye porody: Klassifikacija, nomenklatura, petrografija*, Vol. 1 Ch. 2, Nauka, Moskow, Russia, pp. 366-767.
11. Maljuk, B.I., Kolij, V.D. and Paran'ko, I.S. (1991), *Sov. geologija*, Moscow, Russia, No 11, pp. 65-70.
12. Nikol'skij, A.P. (1990), *Sov. geologija*, Moscow, Russia, No 3, pp. 67-70.
13. Paran'ko, I.S., Butirin, V.K. and Kozar, M.A. (2005), *Mineral'ni resursy Ukrainy*, Kyiv, Ukraine, No 3, pp. 35-40.
14. Stepanyuk, L.M., Bobrov, O.B., Paran'ko, I.S., Ponomarenko, O.M. and Sergeev, S.A. (2011), *Mineralogical Journal (Ukraine)*, Kyiv, Ukraine, Vol. 33 No 3, pp. 69-76.
15. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Bartnickij, E.N., Zmievskij, G.E. and Tatarinova, E.A. (1989), *Dokl. AN USSR*, Ser. B, Kyiv, Ukraine, No 2, pp. 29-35.
16. Baksi, A.K. (2001), *Can. J. Earth Sci.*, Vol. 38, pp. 813-834.
17. Condie, K.C. (2005), *Lithos*, Vol. 79, pp. 491-504.
18. Fitton, J.G., Sunders, A.D., Norry, M.J., Hardarson, B.C. and Taylor, R.N. (1997), *Earth and Planet. Sci. Lett.*, Vol. 133, pp. 197-208.
19. Jensen, L.S. (1976), *A New Cation Plot for Classifying Subalkaline Volcanic Rocks*, Div. Mines, MP66, Ontario, 22 p.
20. Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989), in Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds), *Magmatism in the Ocean Basins*, Geol. Soc., Spec. Publ., No 42, pp. 313-345.

Received 19.01.2015

Г.В. Артеменко¹, І.А. Самборська¹, А.В. Мартинюк²

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: regul@igmof.gov.ua; irena.samborska@gmail.com

² Криворізька КГП, КП "Південьукреологія"
49000, м. Дніпропетровськ, Україна, вул. Чернишевського, 11
E-mail: pravobereg@rambler.ru

ГЕОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА І ГЕОДИНАМІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ МЕТАБАЗИТІВ ТА МЕТАКОМАТИТІВ КРИВБАСУ (СЕРЕДНЬОПРИДНІПРОВСЬКИЙ МЕГАБЛОК УЩ)

Вивчено петрогеохімічні особливості метабазитів і метакوماتитів Кривбасу. До вулканогенних порід Східно-Ганнівської смуги належать метакوماتити (перидотитові та базальтові) і толейтові метабазальти (магнезіальні та високозалістисті). Перидотитові метакوماتити Східно-Ганнівської смуги подібні до метакوماتитів КТ формації зеленокам'яних структур Середньопридніпровського мегаблоку (сурська світа), а високозалістисті толейтові базальти — до архейських базальтів зеленокам'яних поясів типу ТН 2. Метабазити Саксаганського району — це метаморфізовані високозалістисті толейтові базальти. За геохімічними характеристиками вони подібні до архейських базальтів зеленокам'яних поясів типу ТН 2. На діаграмі Zr/Y — Nb/Y метабазити Східно-Ганнівської смуги та Саксаганського району потрапляють у поле базальтів океанічного плато, що свідчить про утворення їх розплавів з плюмового джерела. Згідно з цими даними, метабазити Кривбасу та вулканіти коматит-толейтової формації зеленокам'яних структур Середньопридніпровського мегаблоку могли сформуватися протягом одного етапу магматизму, пов'язаного зі вкорінням мантийного плюму у мезоархеї (3,2—3,0 млрд рр.). На відміну від метабазитів Високотільської ЗС, вони контаміновані коровим матеріалом ($(\text{Nb}/\text{La})_N = 0,24\text{—}0,49$) і характеризуються невеликими негативними значеннями ΔNb ($-0,02 \div -0,26$), що є результатом їх метаморфізму та/або захоплення речовини з більш давнього фундаменту. Внаслідок процесів амфіболізації, окварцювання та біотитизації в метабазитах і метакوماتитах Кривбасу спостерігається збагачення на SiO_2 , Na_2O , K_2O , Rb і збіднення на MgO, CaO і P₂O₅.

Ключові слова: метабазити, метакوماتити, Східно-Ганнівська смуга, Саксаганський район, PЗЕ, контамінація.

G.V. Artemenko¹, I.A. Samborskaya¹, A.V. Martyniuk²

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: regul@igmof.gov.ua; irena.samborska@gmail.com

² Kryvyi Rih KGR, KP "Yuzhukrgeologiya"
11, Chernyshevskogo Str., Dnipropetrovs'k, Ukraine, 49000
E-mail: pravobereg@rambler.ru

GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC AND GEODYNAMIC CONDITION OF METABASITES AND METAKOMATIITES OF KRYVBASS (MIDDLE-DNIEPER MEGABLOCK OF THE UKRAINIAN SHIELD)

The problem of the age of Kryvbass metabasite thickness was considered by many researchers, but so far, this problem has not been solved completely. Throughout the structure the contact of metabasite thickness and Saxagan plagiogranites is tectonic, the epigenetic hydrothermal-metasomatic processes of amphibolization, silicification, carbonation, chloritization, sulphidation, epidotization of host rocks being manifested within it, and this makes its unambiguous interpretation very difficult. Metabasic thickness of the Kryvyi Rih-Kremenchug area is attributed by some researchers to the Paleoproterozoic rift platform formations, and others — are compared with metabasites of the Archean greenstone structures of the Middle-Dnieper megablock. The aim is geochemical study of metabasites and metakomatiites of the East-Hannivka zone and Saxagan area of Kryvbass and possible geodynamic conditions of their formation, evaluation of changes in the composition of REE during metamorphism of rocks of metabasite thickness. To identify the geodynamic conditions of formation of mafic rocks the authors used techniques developed on the use of the group of rare-earth elements, transitional and high-charge elements which are not responsive to changes in processes and fractional crystallization of rocks. In the East-Hannivka zone we have studied metakomatiites (peridotite and basalt) and tholeiitic metabasalts (Mg and high-iron). Peridotite metakomatiites have a somewhat greater content of REE, Cr, Ni, HFS elements (Y, Nb, Ta, Zr), than in Vysokopyllyia GS wan. As to geochemical characteristics they are comparable to volcanics of KT formation of a lower part of GS of the Middle-Dnieper megablock (Sura suite). The studied metabasites of Saxagan region (high-iron tholeiitic basalts) as to the nature of REE distribution are close to the Archean basalts GS of type TH 2. Metabasites of Kryvbass get to the oceanic plateau basalts field (diagram Zr/Y — Nb/Y), indicating the formation of melts of plume source. They are contaminated by crystal material ($(\text{Nb}/\text{La})_N = 0.24\text{—}0.49$) and are characterized by small negative value ΔNb ($-0.02 \div -0.26$), which is the result of metamorphism or seizure of the substance of a more ancient basement. As a result, of the processes of amphibolization, silicification and biotitization in metabasites and metakomatiites of Kryvbass the introduction of SiO_2 , Na_2O , K_2O , Rb and impoverishment with MgO, CaO, REE are observed.

Keywords: metabasite, metakomatiite, East-Hannivka zone, Saxagan area, REE, contamination.