

УДК 552.232 + 550.42 : (546.42 + 546.657)

Л.В. Шумлянський

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34  
E-mail: lshumlyanskyu@yahoo.com

## ЕВОЛЮЦІЯ ВЕНДСЬКОГО ТРАПОВОГО МАГМАТИЗМУ ВОЛИНИ

Відклади волинської серії венду поширені на північному заході України, південному заході Білорусі та сході Польщі. На території України вулканогенна товща складена вулканітами основного й ультраосновного складу. Крім того, серед відкладів рифейської польської серії відомі інтрузивні тіла долеритів. На території України трапова формація представлена такими типами ефузивних та інтрузивних порід (згори донизу): 1 — високотитанисті толейтові базальти якушівських верств ратнівської світи; 2 — низькотитанисті низьконіобієві толейтові базальти нижньої частини ратнівської світи (лучичивські верстви); 3 — низькотитанисті глиноземисті базальтові потоки бабинської світи; 4 — олівінові базальти заболотівської світи; 5 — локально проявлені пікрити у складі горбашівської світи; 6 — сили олівінових долеритів і габро-долеритів серед порід польської серії. Хімічний склад мінералів та порід формації закономірно варіює за її розрізом. Зокрема, найбільш основні плагіоклази (до  $An_{86}Ab_{14}$ ), високомагнезійні орто- ( $En_{82}Fs_{13}Wo_5$ ) та клінопіроксени ( $En_{59}Fs_9Wo_{32}$ ) характерні для пікритів. Крім того, ці породи містять вкраплення олівіну, а рудний мінерал репрезентований переважно хромітом. Угору за розрізом волинської серії основність плагіоклазів і магнезійність піроксенів поступово зменшуються. Олівін ще наявний у базальтах бабинської світи, а вище за розрізом зникає зі складу порід. Вкраплення плагіоклазу в базальтах ратнівської світи за складом дуже близькі до плагіоклазів основної маси пікритів або ж базальтів заболотівської світи. Інтрузивні долерити за складом мінералів подібні до базальтів ратнівської серії, але на відміну від них містять олівін замість ортопіроксену. Магнезійність порід формації поступово і закономірно зростає вгору за розрізом від  $\#Mg = 69-73$  у пікритах до  $35-60$  у високотитанистих базальтах ратнівської світи та інтрузивних долеритах. Концентрація РЗЕ і ступінь їх фракціонування поступово зростає вгору за розрізом. Втім існує виключення із цієї загальної тенденції — найвищий вміст РЗЕ притаманний базальтам бабинської світи. Негативна європейська аномалія властива пікритам та деяким з базальтів бабинської світи; слабка позитивна аномалія європейцю — низькотитанистим базальтам ратнівської світи та високотитанистим долеритам. Ізотопний склад неодиму поступово зростає від  $\epsilon Nd = -12$  у пікритах до  $\epsilon Nd = -1...-6$  та  $-1...-3$  у високотитанистих базальтах ратнівської світи та долеритах відповідно. Проте і в цьому ряду є виключення — базальти заболотівської світи мають  $\epsilon Nd = -1$ . Ефузиви кожної зі світ волинської серії формувались із окремих порцій мантіїних розплавів, кожна з яких мала специфічні геохімічні та ізотопні характеристики. Кожен цикл вулканізму відокремлений від інших туфовими товщами або перервами у вулканічній діяльності. Джерелом вихідних розплавів була літосферна речовина, але з часом глибина джерела збільшувалась. Початок формування високотитанистих розплавів знаменує перехід осередку плавлення в сублітосферну мантію, де джерелом плавлення була плюмова речовина. Породи різних світ зазнавали різного ступеня контамінації короною (та, вірогідно, мантіїно-літосферною) речовиною, а також розрізнялись за геохімічними характеристиками джерел.

**Передмова.** Першою фундаментальною роботою, присвяченою дослідженню мінералогії порід трапової формації Волині (і магматичних комплексів Західної Волині взагалі), була опублікована в 1960 р. у Львові монографія Є.К. Лазаренка зі співавторами "Мінералогія вивержених комплексів Західної Волині". Окрім власне мінералогічних питань, авторами

зазначеної роботи детально описано петрографію базальтів Волині, а також розглянуто деякі питання їх походження. Стаття, що пропонується увазі читачів, значною мірою базується на підвалинах, закладених півсторіччя тому видатним українським вченим-мінералогом Євгеном Костянтинівичем Лазаренком.

**Вступ.** Відклади волинської серії венду поширені на північному заході України, південному заході Білорусі та сході Польщі. На те-

риторії України вулканогенна товща складена ефузивами та туфами основного й ультраосновного складу, більш кислі відміни відомі лише в Білорусі. У розрізі волинської серії виділяють чотири світи [1]. Нижня горбашівська світа потужністю до 50 м складена гравелітами, пісковиками, аргілітами, які у верхній частині містять домішку туфового матеріалу. В окремих випадках були зафіксовані потоки пікритів. Наступною у розрізі є заболотівська світа потужністю до 166 м, складена переважно потоками олівінових базальтів з підпорядкованою кількістю туфових прошарків. Ці породи перекриваються відкладами бабинської світи, потужність яких сягає 200 м. Пірокластичні породи різко домінують у складі світи, хоча в центральній частині її розрізу нерідко відзначаються один або два базальтових потоки. Нарешті, верхня частина розрізу волинської серії утворена найбільш розповсюдженою ратнівською світою, потужність якої становить до 207 м. Складена світа переважно толейтовими базальтами, як високо-, так і низькотитанистими. Товща небазальтових вулканітів розвинена на території Білорусі в центральній частині Подлясько-Брестської западини на площі 2,4 тис. км<sup>2</sup> і репрезентована породами нормального і сублужного рядів. Потужність товщі — 57—112 м, вона складена одним—трьома потоками і малопотужними пачками туфів [3, 4 та ін.].

Крім того, серед відкладів рифейської поліської серії виявлені інтрузивні тіла долеритів та габро-долеритів, належність яких до трапової формації не доведена. У Подністров'ї відома вулканогенна товща потужністю до 40—50 м, складена двома потоками базальтів та їх туфами. Вона виділена у складі кам'янської світи, проте її стратиграфічне положення та належність до волинської серії також лишаються дискусійними [11].

Результати дослідження геохімічних і ізотопно-геохімічних особливостей ефузивних та інтрузивних порід Волині із застосуванням сучасних аналітичних методик викладені у багатьох роботах [5—7, 9, 14, 15]. Проте до цього часу відсутні роботи, де розглянуто всю трапову формацію Волині, а також петрогенезис кожної зі світ та еволюцію магматизму в цілому. Саме цьому питанню і присвячена дана робота, метою якої є розгляд еволюції трапового магматизму Волині, що базується на результатах сучасних аналітичних досліджень.

**Петрографія ефузивних порід волинської серії.** Петрографія порід *ратнівської світи* детально описана в попередній публікації автора [8], згідно з якою типовий базальт, що належить до цієї світи, містить 1—15 % зміненого на палагоніт вулканічного скла. Вміст породоутворювальних мінералів зазвичай непостійний, %: плагіоклаз — від 65—70 до 45—50, піроксени (моноклінний і ромбічний) — від 20—25 до 35—40, рудні мінерали — 5—10.

*Базальти бабинської світи* зазвичай мають офітову та субофітову будову, завдяки чому їх нерідко описують як долеритові інтрузиви (див., зокрема [2]). Структури порід переважно порфірові або ж мікропорфірові, від повнокристалічних до інтерсертальних. Досліджені авторами роботи [14] базальти бабинської світи не мали олівіну, натомість містили змінене інтерстиційне скло. Водночас долерити, досліджені [2], були повнокристалічними та містили до 15 % зміненого олівіну. Згідно зі спостереженнями автора, базальти бабинської світи відрізняються від базальтів ратнівської вищим вмістом клінопіроксену (до 40 %), підвищеним ідіоморфізмом плагіоклазу та наявністю повністю змінених дрібних кристалів олівіну.

*Базальти заболотівської світи* на загал репрезентовані олівіновими відмінами. Структура неповнокристалічна, рівномірнозерниста, текстура зазвичай мигдалекам'яна. Мінеральний склад, %: плагіоклаз — 30—50, релікти олівіну — 3—5, клінопіроксен — 20—40, змінене вулканічне скло та рудні мінерали — до 20—25.

Плагіоклаз утворює численні дрібні (0,1 × 0,5 мм) таблитчасті кристали, центральні ділянки яких нерідко замінені (пелітизовані, хлоритизовані). Клінопіроксени розташовуються в інтерстиціях кристалів плагіоклазу, де утворюють більш-менш свіжі гіпідіоморфні до ксеноморфних кристали. Олівін у вигляді нечисленних ізометричних гіпідіоморфних зерен розміром до 0,5 мм повністю замінений на боулінгітоподібну масу. Іноді спостерігались скупчення кристалів олівіну розміром до 1 мм. Інтерстиції виповнені темним до непрозорого, озалізненим склом, що містить скелетні виділення рудних мінералів.

*Інтрузивні тіла габро-долеритів* слабодиференційовані. Їх петрографічні особливості описано в роботі [10], згідно з якою головною породною відміною є олівіновий долерит, часто

суттєво змінений. Структура порід переважно середньо-, рівномірнозерниста до нерівномірнозернистої, гіпідіоморфнозерниста, субофітова до офітової. Текстура масивна. Головними породоутворювальними мінералами є, %: плагіоклаз (40—65), олівін (5—20, іноді відсутній), авгіт (15—35), рудні (5, іноді — до 10—15). Новоутворені мінерали — хлорит (до 5—10) та серпентин.

*Пікрити* — олівінфірові породи з тонкозернистою структурою основної маси. Мінеральний склад досліджених автором пікритів такий, об. %: вкраплення олівину — 15; основна маса: клінопіроксен — 50, плагіоклаз — 50.

У породі широко розповсюджені ідіоморфні порфірові вкраплення олівину ізометричної або дещо видовжено-призматичної форми. Розмір кристалів становить 0,4—0,6, зрідка сягає 2 мм. Олівін повністю замінений. Найбільш розповсюдженим мінералом, що розвивається по олівину, є безбарвний амфібол з прямим погасанням. Менше поширені карбонат і хлорит. Усі вкраплення олівину оточені малопотужною облямівкою яскраво-червоного боулінгіту.

Основна маса складена дуже дрібними (максимальний розмір — до  $0,02 \times 0,1$  мм) кристалами піроксену і плагіоклазу, кількість яких майже однакова. Подеколи порода набуває дещо більш крупнозернистої будови з типовими скелетними (дендритоподібними) кристалами плагіоклазу. На таких ділянках присутня невелика кількість (до 2—3 %) видовжено-призматичних кристалів рудного мінералу, цілком ідіоморфних.

Інколи розвинений тонкозернистий карбонат. Навколо порфірових вкраплень олівину нерідко зафіксовано дрібні ідіоморфні виділення хроміту.

**Хімічний склад ефузивів волинської серії.** Трапову формацію Волині на території України складають такі типи ефузивних та інтрузивних порід (згори донизу): 1 — високотитанисті толейтові базальти, які утворюють якушівські верстви ратнівської світи; 2 — низькотитанисті низьконіобієві толейтові базальти, що формують нижню частину ратнівської світи (лучичівські верстви); 3 — низькотитанисті глиноземисті базальтові потоки у складі бабинської світи і, можливо, деякі з нижніх потоків ратнівської світи; 4 — олівінові базальти заболотівської світи; 5 — локально

розповсюджені пікрити у складі горбашівської світи; 6 — сили олівінових долеритів і габродолеритів серед порід поліської серії. Розглянемо послідовно всі ці типи порід.

*Високотитанисті базальти якушівських верств ратнівської світи* є найбільш залізистими базальтоїдними породами волинської серії ( $\#Mg = 58,0—34,7$ , див. результати хімічних аналізів у роботі [8]). На варіаційних діаграмах вони утворюють закономірні тренди еволюції хімічного складу: зі скороченням магнезійності порід дещо зростає вміст  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Ba$ ,  $Hf$ ,  $Rb$ ,  $Zr$ , а вміст  $Co$  та  $Ni$ , навпаки, зменшується. Вміст  $Al_2O_3$  і  $CaO$  в породах спочатку зростає зі зменшенням магнезійності, але коли вона досягає 50, починається зменшення їхнього вмісту, що пов'язано зі зростанням ролі плагіоклазу. Втім вміст  $Na_2O$  залишається таким, як і раніше.

Характерною рисою високотитанистих базальтів, яка виділяє їх з-поміж усіх інших ефузивів формації, є високий вміст  $TiO_2$  (вищий 1,80 %, у переважній більшості випадків — понад 2,00 %). Більш високий вміст цього компонента мають лише інтрузивні олівінові долерити і габродолерити серед пісковиків поліської серії. Так само високим є вміст цирконію і гафнію, який у середньому перевищує вміст цих елементів в інших ефузивах Волині (рис. 1). Вміст барію та хрому є найнижчим.

На хондритнормованих варіаційних діаграмах вмісту РЗЕ високотитанисті базальти проявляють тенденцію до закономірного поступового зменшення вмісту від 40—80 хондритових норм (х. н.) для лантану, до 7—15 — для лютецію. При цьому європейська аномалія взагалі відсутня або наявна дуже слабка негативна (рис. 2).

Хондритнормований розподіл мікроелементів характеризується великим діапазоном варіацій значень вмісту найбільш некогерентних елементів, у першу чергу, рубідію та калію, що пов'язане з високою мобільністю цих елементів під час вторинних змін. У цілому спайдерграма розподілу мікроелементів характеризується поступовим скороченням хондритнормованого вмісту від найбільш некогерентних елементів до когерентних. При цьому спостерігаються чіткі негативні піки стронцію та фосфору. Nb-Ta негативна аномалія дуже слабка.

*Низькотитанисті низьконіобієві толейтові базальти лучичівських верств ратнівської світи*

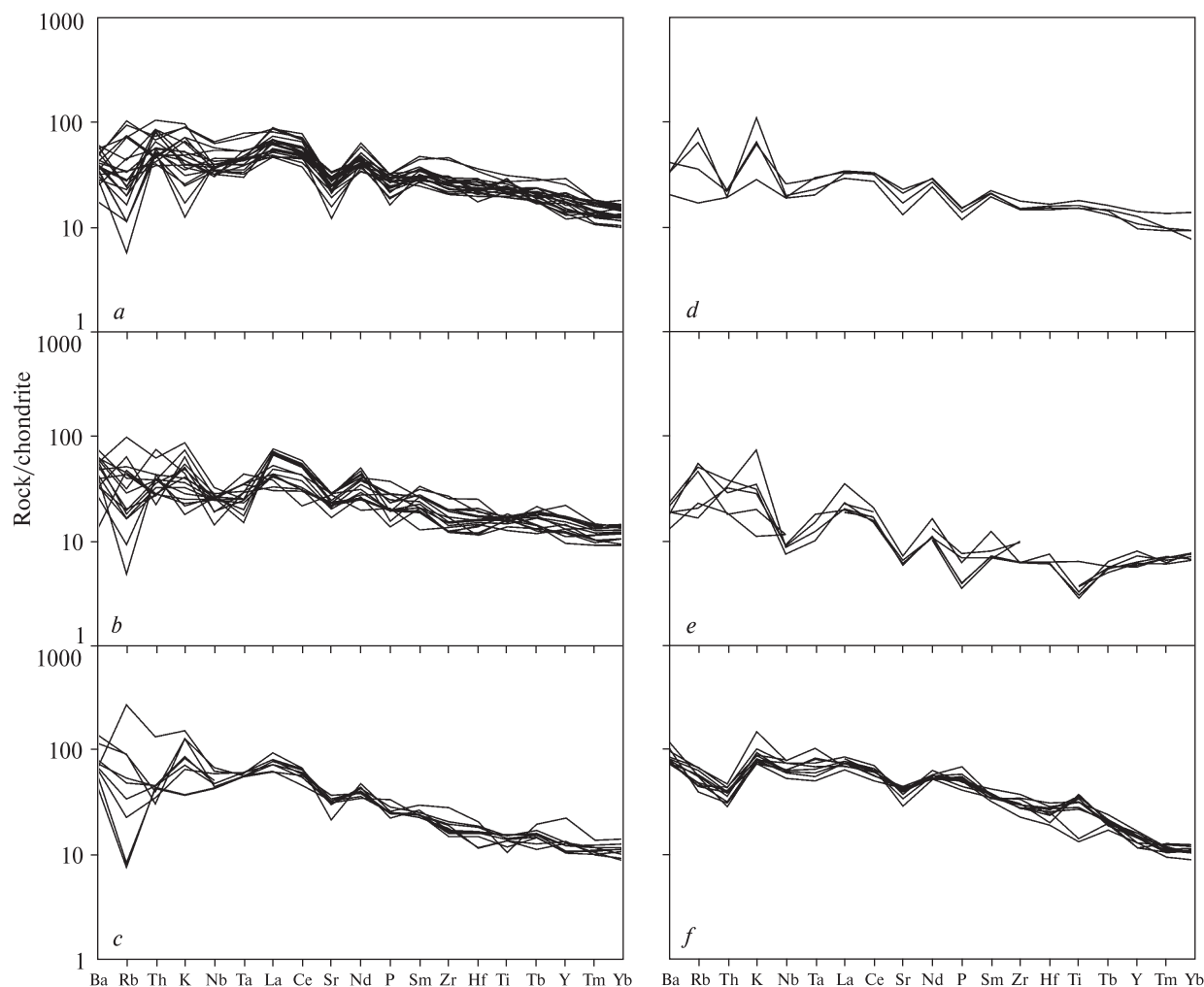


Рис. 1. Хондритнормований розподіл мікроелементів у породах трапової формації Волині: *a* — високотитаністі базальти якушівських верств ратнівської світи; *b* — низькотитаністі низьконіобієві толейтові базальти луччівських верств ратнівської світи; *c* — низькотитаністі глиноземисті базальтові потоки бабинської світи; *d* — олівінові базальти заболотівської світи; *e* — пікрити; *f* — олівінові долерити інтрузивних тіл

Fig. 1. Chondrite-normalized pattern of trace elements in the Volynian continental flood basalts: *a* — high-Ti basalts of the Ratne suite; *b* — low-Ti and -Nb basalts of the Ratne suite; *c* — low-Ti high-Al basalts of the Babino suite; *d* — olivine basalts of the Zabolotta suite; *e* — picrites; *f* — intrusive olivine dolerite

характеризуються змінною магнезійністю — від 59,0 до 39,2. Вміст більшості петрогенних оксидів не залежить від магнезійності, тоді як вміст некогерентних мікроелементів дещо зростає зі зниженням магнезійності порід.

Хондритнормований розподіл РЗЕ у базальтах луччівських верств дещо нижчий від такого в базальтах якушівських верств. Помірна європейська аномалія (як негативна, так і позитивна) встановлена лише в поодиноких зразках.

Розподіл мікроелементів у луччівських базальтах дещо відмінний від такого в якушівських. Так, їм притаманний нижчий вміст найбільш некогерентних елементів (так само з

високою дисперсією значень вмісту Rb та K), доволі чітко проявлена в більшості зразків негативна Nb-Ta аномалія, а також слабо виражені негативні піки Sr та P.

*Низькотитаністі глиноземисті базальти бабинської світи* за багатьма ознаками дуже подібні до базальтів луччівських верств. На більшості варіаційних діаграм вони утворюють єдине поле і проявляють подібні закономірності еволюції хімічного складу. Проте існують і певні відмінності у складі, які дозволяють чітко їх розрізнити. Загалом, базальти бабинської світи дещо більш магнезійні — #Mg варіює від 65,9 до 45,8 (табл. 1). Найбільш чітко відмінність між ними проявлена у

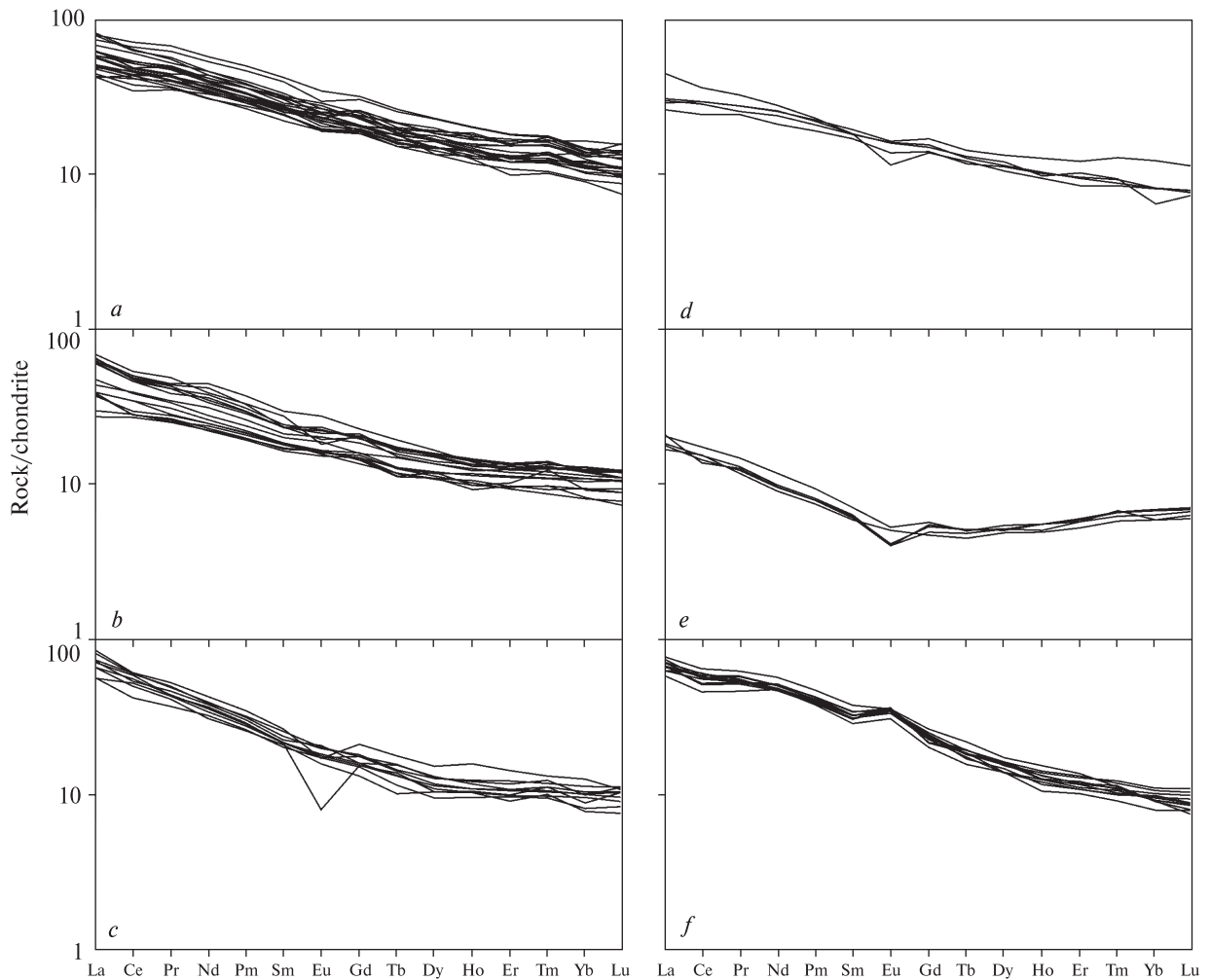


Рис. 2. Хондритнормований розподіл РЗЕ в породах трапової формації Волині. Позначення див. на рис. 1

Fig. 2. Chondrite-normalized REE pattern in the Volynian continental flood basalts. Legend see on Fig. 1

вмісті  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,22–14,71 % у лучичівських верствах проти 13,79–17,41 % в бабинських),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,23–1,26 проти 0,46–2,23 %), Ва (191–613 і 266–1455 г/т), Sr (198–341 і 239–629 г/т), Nb (5–11 і 12–24 г/т), Ni (24–121 і 103–168 г/т) та V (269–458 і 195–384 г/т). Особливо чітко це проявлено на діаграмі Ni – Nb, на якій ці базальти утворюють окремі поля (рис. 3).

Хондритнормований розподіл РЗЕ у бабинських базальтах має певні особливості. Так, концентрація легких РЗЕ є найвищою серед усіх базитових ефузивів трапової формації Волині (вміст La становить 55–84 х. н.), водночас вміст важких РЗЕ – на рівні інших світ (вміст Lu – 7–11 х. н.). При цьому зменшення вмісту від легких до важких РЗЕ відбувається не рівномірно по всьому спектру, як у базальтах ратнівської світи, а доволі стрімко від La до Dy; далі, в області важких РЗЕ, їх

вміст є більш-менш сталим. Негативна Eu аномалія різної інтенсивності зафіксована лише в кількох зразках.

Хондритнормована спайдерграма розподілу мікроелементів у базальтах бабинської світи також має свої особливості. Так, ці базальти характеризуються помірно високим вмістом найбільш некогерентних елементів, значно вищим від такого в базальтах ратнівської світи. Зазначимо високу дисперсію значень вмісту Rb та K, яка спостерігалась і в базальтах ратнівської світи. Вміст мікроелементів більш-менш рівномірно зменшується від найбільш некогерентних елементів до помірно когерентних. Вміст останніх в базальтах бабинської світи на тому ж рівні, що і в базальтах ратнівської. Nb-Ta негативна аномалія відсутня або проявлена слабо. Так само практично не проявлена негативна аномалія Р, негативна

Таблиця 1. Хімічний склад базальтів бабинської світи  
Table 1. Chemical composition of the Babino suite basalts

Компо- нент	P1-35	P1-45	P1-38	P1-40	8265/179- 181	8265/167	8265/176,3	8265/192,5	8265/228,9
SiO <sub>2</sub>	43,52	49,35	47,73	46,07	47,17	43,62	47,80	45,48	50,83
TiO <sub>2</sub>	1,48	1,40	1,45	1,18	1,47	1,34	1,67	1,51	1,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,46	16,14	16,52	15,35	15,3	15,29	15,02	14,69	13,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,88	14,02	14,62	10,57	14,10	4,86	15,82	5,48	13,73
FeO	5,00	—	—	4,29	—	7,20	—	7,06	—
MnO	0,52	0,22	0,74	0,27	0,18	0,34	0,28	0,39	0,12
MgO	8,78	5,65	7,31	7,25	6,17	7,45	6,53	5,87	12,68
CaO	4,51	8,85	6,20	5,32	8,82	8,97	9,02	9,68	2,98
Na <sub>2</sub> O	3,95	2,66	3,14	3,40	2,62	2,26	2,66	2,42	2,31
K <sub>2</sub> O	1,17	1,29	1,80	1,79	1,12	0,50	0,75	0,46	1,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,20	0,21	0,25	0,30	0,24	0,23	0,25	0,14
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,86	—	—	0,46	—	4,53	—	2,97	—
В. п. п.	6,46	—	—	3,74	2,60	3,42	—	3,74	—
Сума	99,81	99,78	99,72	99,94	99,88	100,03	99,78	100,04	99,83
#Mg	57,8	45,8	51,2	49,8	47,9	54,9	46,4	48,0	65,9
Ba	566	575	1455	975	501	322	510	415	226
Co	69	—	—	53	58	63	—	57	—
Cs	1,4	—	—	0,6	<0,1	0,0	—	0,0	—
Ga	28	18	20	21	22	23	21	20	22
Hf	3	3	5	3	4	3	3	3	4
Nb	17	19	19	16	19	15	19	15	12
Rb	17,1	23,0	23,0	31,7	18,5	2,7	6,0	2,9	57,0
Sr	361	629	429	407	468	440	446	381	239
Ta	1,2	—	—	1,1	1,3	1,1	—	1,1	—
Th	1,9	3,0	4,9	1,7	1,9	1,9	4,0	1,8	6,0
U	0,4	—	—	0,4	0,4	0,4	—	0,4	—
V	266	279	303	277	297	284	339	288	384
Zr	118	121	125	103	130,8	115	143	111	126
Y	24,6	22,0	23,0	21,3	28,8	21,0	25,0	21,9	27,0
La	26,8	—	—	25,7	29,7	20,4	—	24,1	—
Ce	57,5	50,0	47,0	56,0	56,6	49,5	47,0	52,9	31,0
Pr	6,70	27,00	27,00	5,90	6,79	5,90	25,00	6,00	11,00
Nd	27,8	—	—	25,5	27,3	24,2	—	25,2	—
Sm	5,5	—	—	5,0	5,9	4,9	—	5,0	—
Eu	1,70	—	—	1,50	1,75	1,60	—	1,50	—
Gd	5,60	—	—	4,70	5,37	4,90	—	5,40	—
Tb	0,84	—	—	0,76	0,91	0,78	—	0,82	—
Dy	4,80	—	—	4,30	4,91	4,20	—	4,50	—
Ho	1,10	—	—	0,93	1,04	0,89	—	0,93	—
Er	3,10	—	—	2,70	2,94	2,50	—	2,70	—
Tm	0,42	—	—	0,38	0,44	0,35	—	0,37	—
Yb	2,80	—	—	2,50	2,49	2,40	—	2,50	—
Lu	0,43	—	—	0,37	0,43	0,35	—	0,40	—
Mo	0,2	—	—	0,3	0,5	0,5	—	0,4	—
Cu	229	274	194	162	118,4	324	433	334	157
Pb	16	13	19	18	2	6	7	6	11
Zn	220	—	—	170	91	152	—	129	—
Cr	73	66	77	53	68	59	83	58	287
Ni	120	109	113	115	111	168	110	128	103
Sc	32	—	—	27	30	28	—	29	—
Be	1,6	—	—	1,2	—	1,1	—	1,1	—
Li	40,2	—	—	32,2	—	9,2	—	7,1	—
Sn	6,8	—	—	6,4	—	3,5	—	3,6	—

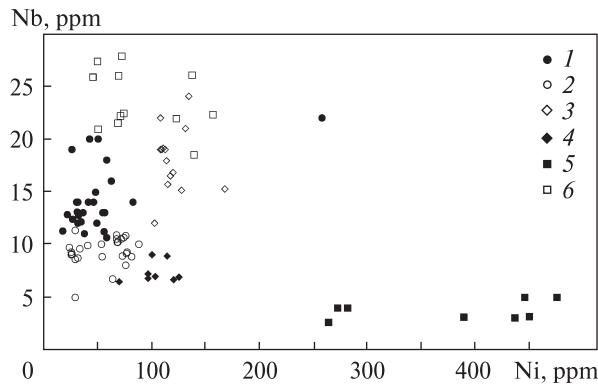


Рис. 3. Вміст Ni та Nb у породах трапової формації Волині: 1 — високотитаністі базальти якушівських верств ратнівської світи; 2 — низькотитаністі низько-ніобієві толеїтові базальти лучивських верств ратнівської світи; 3 — низькотитаністі глиноземисті базальтові потоки бабинської світи; 4 — олівінові базальти заболотівської світи; 5 — пікрити; 6 — олівінові долерити інтрузивних тіл

Fig. 3. Concentrations of Ni and Nb in the Volynian flood basalts: 1 — high-Ti basalts of the Ratne suite; 2 — low-Ti and -Nb basalts of the Ratne suite; 3 — low-Ti high-Al basalts of the Babino suite; 4 — olivine basalts of the Zabolottya suite; 5 — picrites; 6 — intrusive olivine dolerite

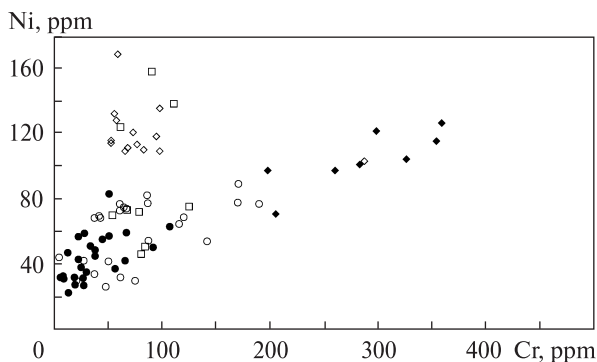


Рис. 4. Вміст Ni та Cr у породах трапової формації Волині. Позначення див. на рис. 3. Вміст Cr у пікритах становить 1420—2440 г/т (на рисунку не показаний)

Fig. 4. Concentrations of Ni and Cr in the Volynian flood basalts. Legend see on Fig. 3. Note, that due to the high Cr abundance (1420—2440 ppm) picrites are not shown on this figure

аномалія Sr в цих породах зберігається, але є незначною.

Олівінові базальти заболотівської світи мають найвищу серед всіх базальтових порід волинської серії магnezіальність (від 58,8 до 70,4) (табл. 2). Відповідно, вони мають найвищий вміст Cr (205—360 г/т) та високий вміст Ni (71—126) (рис. 4).

Базальти заболотівської світи мають тенденцію до зміни хімічного складу зі зменшен-

ням магnezіальності: дещо зростає вміст  $TiO_2$ , Ba, Zr, доволі стрімко —  $K_2O$ , Rb, V; дещо скорочується вміст  $SiO_2$ . Отже, процеси фракційної кристалізації відігравали значну роль у еволюції цих порід.

Базальти світи мають невисокий вміст некогерентних мікроелементів. Хондритнормований розподіл РЗЕ відрізняється низькою концентрацією легких РЗЕ (вміст La становить 28—44 х. н.), а вміст важких РЗЕ відповідає такому в інших відмінах базальтів Волині (концентрація Lu становить 7 х. н.). Загалом, спостерігається поступове закономірне зменшення вмісту РЗЕ від легких до важких. В одному зі зразків проявлена чітка негативна Eu аномалія.

Хондритнормований розподіл мікроелементів у базальтах заболотівської світи чітко відрізняється від усіх описаних вище. Зокрема, їм притаманний більш-менш плоский або навіть "кулоподібний" характер розподілу мікроелементів — найбільшими хондритнормованими концентраціями відрізняються помірно некогерентні елементи — легкі та середні РЗЕ. Вміст найбільш некогерентних літофільних елементів з великими іонами (Ba, Rb, Th, K) порівняно низький. Nb-Ta, Sr та Р аномалії присутні, але проявлені дуже слабо.

Пікрити є рідкісними породами. Вони відрізняються високою магnezіальністю (68,6—73,3) та підвищеним вмістом  $MgO$  — 12,05—14,54 % (табл. 2). Такий специфічний хімічний склад позначається і на вмісті інших елементів: вміст некогерентних елементів можна охарактеризувати як понижений, а когерентних — як підвищений.

Пікрити мають закономірні варіації вмісту деяких з елементів (компонентів) залежно від магnezіальності. Так, вміст  $SiO_2$  дещо зменшується зі зменшенням магnezіальності (на загал, пікрити Волині відрізняються високим вмістом  $SiO_2$  — 48,84—50,36, а в двох зразках навіть 54,09 та 57,06 %), а  $TiO_2$ , Zr — дещо зростає,  $Al_2O_3$  — зростає дуже сильно (від 11,30 до 14,72 %). Пікрити вирізняються дуже високим вмістом Cr (1420—2440) і Ni (264—476 г/т), який є найвищим серед всіх порід трапової формації Волині (рис. 4).

Пікрити мають вельми специфічний профіль хондритнормованого розподілу РЗЕ. На загал, вміст РЗЕ є найнижчим серед усіх порід трапової формації Волині — для La він становить 17—20 х. н., а для Lu — 6—7. Але най-

Таблиця 2. Хімічний склад базальтів заболотівської світи і пікритів горбашівської світи

Table 2. Chemical composition of the Zabolottya suite basalts and Gorbashi suite picrites

Компо- нент	Заболотівська світа							Горбашівська світа			
	8265/275,5	8265/257,5	8265/276,2	8265/289	8265/261,3	8265/296,5	8265/309,7	P1-78	P1-79	P1-76	P1-77
SiO <sub>2</sub>	47,18	49,47	48,95	48,20	46,61	45,09	49,01	47,87	47,70	47,81	47,54
TiO <sub>2</sub>	1,45	1,56	1,76	1,64	1,53	1,49	1,83	0,28	0,63	0,34	0,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,18	13,73	14,89	13,50	13,58	12,21	14,94	11,60	11,43	11,96	12,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,40	12,80	12,68	11,93	11,96	11,38	14,21	2,37	2,80	11,63	11,29
FeO	—	—	—	—	—	—	—	7,65	6,86	—	—
MnO	0,19	0,21	0,16	0,17	0,16	0,15	0,25	0,17	0,17	0,19	0,18
MgO	9,73	12,07	10,51	10,82	10,92	10,16	9,66	14,33	14,36	14,01	14,47
CaO	7,37	5,62	6,81	6,36	5,36	5,14	6,39	9,14	9,83	8,36	8,99
Na <sub>2</sub> O	2,90	2,68	3,23	2,32	2,62	2,25	2,49	1,22	1,22	1,98	1,36
K <sub>2</sub> O	0,38	1,57	0,69	0,92	1,33	0,82	0,88	0,39	1,02	0,93	1,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,12	0,14	0,14	0,16	0,19	0,16	0,04	0,04	0,04	0,04
C	0,3	—	—	—	0,09	0,52	—	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	—	—	—	—	—	1,23	1,03	—	—
В. п. п.	6,20	—	—	—	6,80	11,10	—	3,24	2,55	2,69	1,99
Сума	100,18	99,83	99,83	100,00	100,09	100,02	99,80	99,54	99,64	99,59	99,56
#Mg	64,2	66,4	63,5	65,5	65,7	65,2	58,8	73,5	74,3	71,6	72,9
Ba	140	222	259	221	365	640	281	128	129	600	650
Co	44	50	—	51	48	42	40	68	68	—	—
Cs	0,2	—	—	0,5	0,3	0,5	—	0,4	0,3	—	—
Ga	21	17	22	20	20	16	19	12	11	11	13
Hf	3	3	4	3	3	3	3	1	1	4	3
Nb	7	7	9	7	7	7	9	3	3	5	5
Rb	5,9	30,0	11,0	22,2	29,9	18,2	12,3	7,2	5,7	33,0	44,0
Sr	246	154	291	198	368	560	266	77	69	131	164
Ta	0,4	0,5	—	0,6	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	—	—
Th	0,8	0,8	4,0	0,9	1,0	1,0	0,9	1,3	1,4	3,0	4,0
U	0,2	0,2	—	0,3	0,1	0,3	0,4	0,3	0,3	—	—
V	314	318	382	354	322	315	340	205	192	234	240
Zr	100	99	127	102	109	105	119	42	43	60	60
Y	25,0	21,1	20,0	19,1	23,4	28,6	27,6	11,7	11,3	14,0	13,0
La	10,5	9,5	—	10,9	11,6	13,3	11,2	6,5	6,7	—	—
Ce	28,0	23,2	23,0	26,9	28,9	36,0	28,0	13,6	14,4	17,0	6,0
Pr	3,75	3,3	13,00	3,4	3,77	4,93	3,8	1,70	1,80	7,00	11,00
Nd	18,2	14,9	—	16,8	17,7	20,1	18,0	6,7	7,0	—	—
Sm	4,2	3,9	—	4,2	4,4	5,3	4,4	1,4	1,5	—	—
Eu	1,38	1,2	—	1,40	1,5	1,82	1,4	0,36	0,35	—	—
Gd	4,53	4,3	—	4,70	4,88	5,83	5,2	1,60	1,70	—	—
Tb	0,75	0,67	—	0,73	0,83	0,96	0,83	0,29	0,30	—	—
Dy	4,55	4,2	—	4,30	4,42	5,51	5,0	1,90	2,00	—	—
Ho	0,83	0,86	—	0,88	0,86	0,99	1,10	0,47	0,47	—	—
Er	2,53	2,40	—	2,30	2,5	2,7	3,00	1,50	1,50	—	—
Tm	0,33	0,33	—	0,31	0,35	0,38	0,46	0,24	0,23	—	—
Yb	1,59	2,00	—	2,00	1,46	1,99	3,00	1,70	1,70	—	—
Lu	0,28	0,29	—	0,30	0,33	0,30	0,43	0,27	0,26	—	—
Mo	0,4	0,3	—	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	—	—
Cu	47	165	154	145	16	21	164	194	97	263	213
Pb	3	8,8	8	9	2,6	3,5	20,5	11	7	11	8
Zn	104	125	—	133	77	80	164	85	91	—	—
Cr	205	303	283	299	260	198	293	1537	1420	2226	2440
Ni	71	119	101	121	97	97	106	450	437	446	476
Sc	32	42	—	35	33	28	46	48	42	—	—
Be	—	0,3	—	0,5	—	—	0,9	0,4	0,4	—	—
Li	—	13,2	—	10,6	—	—	35,3	12,5	16,8	—	—
Sn	—	6,3	—	6,0	—	—	6,3	8,5	4,1	—	—



менші значення концентрації мають середні РЗЕ — 5—6 х. н. Отже, розподіл РЗЕ характеризується увігнутих донизу профілем. Іншою особливістю є наявність майже у всіх зразках суттєвої негативної Eu аномалії.

Хондритнормований профіль мікроелементів також доволі специфічний. Він має "пилкоподібний" вигляд з чіткими негативними аномаліями вмісту Ba, Nb—Ta, Sr, P та Ti. На загал, вміст мікроелементів є найнижчим серед всіх порід трапової формації. Він закономірно скорочується від найбільш некогерентних до більш когерентних; найменший хондритнормований вміст — у Hf, Ti і Tb; далі, в напрямку до менш некогерентних важких РЗЕ хондритнормований вміст знову починає зростати.

Сили олівінових долеритів вирізняються з-поміж всіх порід трапової формації Волині своїм складом, #Mg варіює від 40,4 до 60,3 [10], тобто на тому ж рівні, що і в більшості базальтів. Зі зростанням магнезійності закономірно зменшується вміст SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Ba, Hf,

Rb, V, Zr, Zn, Ni та зростає — Co. Отже, в ході еволюції розплави накопичують некогерентні елементи, що не увійшли до складу жодного з породоутворювальних мінералів.

Долеритам, у порівнянні з ефузивними породами трапової формації Волині, включаючи й пікрити, притаманний найнижчий вміст SiO<sub>2</sub> і V та найвищий — TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і Sr. Вони характеризуються повільним, але цілком закономірним зменшенням вмісту РЗЕ від 72—56 х. н. для La до 9—7 — для Lu та наявністю незначної негативної аномалії Ce і позитивної Eu. Вміст легких та середніх РЗЕ у долеритах Волині загалом вищий, ніж у базальтах, а концентрація важких РЗЕ в долеритах — на рівні найнижчого вмісту в базальтах. Отже, РЗЕ в долеритах є більш фракціонованими, ніж в базальтах. Крім того, для базальтів характерна помірно негативна аномалія Eu.

Вміст найбільш некогерентних елементів у габро-долеритах становить 70—120 х. н., а більш сумісних знижується до 10 норм. На діаграмі спостерігається "плато" високих значень вміс-

Таблиця 3. Ізотопний склад стронцію та неодиму в породах трапової формації Волині

Table 3. Isotope composition of Sr and Nd in Volynian flood basalts

Проба	Вміст, г/т		Ізотопні співвідношення			Sr <sub>(550)</sub>	Вміст, г/т		Ізотопні співвідношення			Nd <sub>550</sub>
	Rb	Sr	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sub>(0)</sub>	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sub>(550)</sub>		Sm	Nd	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd <sub>(0)</sub>	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd <sub>(550)</sub>	
<i>Сили олівінових долеритів / Intrusions of olivine dolerite</i>												
60/1	20,6	456,2	0,1305	0,707112 ± 10	0,706089	29,2	6,9	31,3	0,1342	0,512313 ± 7	0,511830	-2,0
60/130	15,6	401,0	0,1125	0,707031 ± 7	0,706150	32,6	6,7	29,5	0,1372	0,512334 ± 8	0,511839	-1,8
94/126	28,0	334,0	0,2426	0,708164 ± 8	0,706262	31,6	6,7	30,0	0,1356	0,512317 ± 7	0,511828	-2,0
<i>Високотитаністі базальти якушівських верств ратнівської світи / High-Ti basalts of the Ratne suite</i>												
8253/320,5	15,3	322,0	0,1375	0,709808 ± 11	0,708730	66,7	6,9	30,2	0,1381	0,512165 ± 7	0,511667	-5,1
Янова	12,1	347,6	0,1007	0,705887 ± 6	0,705097	15,1	7,2	29,4	0,1479	0,512418 ± 7	0,511885	-0,9
Долина	15,3	342,3	0,1297	0,706170 ± 13	0,705150	18,0	7,4	31,0	0,1449	0,512400 ± 6	0,511878	-1,0
<i>Низькотитаністі низьконіобієві толейтові базальти лучивських верств ратнівської світи / Low-Ti and -Nb basalts of the Ratne suite</i>												
5920/6	49,3	172,9	0,8255	0,713790 ± 13	0,707318	46,6	4,9	18,8	0,1592	0,512764 ± 5	0,512190	—
5923/16	8,3	247,8	0,0962	0,708112 ± 12	0,707352	47,1	3,9	16,4	0,1438	0,512312 ± 10	0,511794	-2,7
5923/23	6,1	270,8	0,0652	0,707635 ± 14	0,707124	43,9	—	—	—	—	—	—
5923/27	3,0	261,1	0,0332	0,707544 ± 12	0,707283	46,1	4,0	16,7	0,1448	0,512304 ± 6	0,511728	-2,9
8143/399	4,5	256,4	0,0508	0,708433 ± 9	0,708035	56,8	3,9	16,7	0,1423	0,512265 ± 6	0,511752	-3,5
4599/299	3,3	269,0	0,0355	0,708893 ± 10	0,708620	67,7	3,9	15,7	0,1509	0,512307 ± 6	0,511736	-3,3
<i>Низькотитаністі глиноземісті базальтові потоки бабинської світи / Low-Ti high-Al basalts of the Babino suite</i>												
8265/167	2,7	440,0	0,0178	0,706589 ± 7	0,706450	36,9	4,7	23,0	0,1244	0,512109 ± 7	0,511666	-5,3
<i>Олівінові базальти заболотівської світи / Olivine basalts of the Zabolotyya suite</i>												
8265/257,5	30,0	154,0	0,5644	0,708987 ± 7	0,704562	7,5	3,68	14,35	0,1551	0,512442 ± 8	0,511883	-0,9
8265/309,7	12,3	266,0	0,1338	0,706562 ± 7	0,705480	20,5	4,64	18,01	0,1559	0,512445 ± 13	0,511883	-0,9
8265/289	22,2	198,0	0,3244	0,706890 ± 14	0,704350	7,0	3,9	15,2	0,1554	0,512440 ± 7	0,511881	-1,0
<i>Пікрити / Picrites</i>												
КАР-1770	17,6	72,3	0,7052	0,720928 ± 16	0,715399	161,4	2,1	9,4	0,1345	0,511791 ± 7	0,511306	-12,2
WIZ-408	16,0	429,0	0,1079	0,709221 ± 9	0,708375	61,6	1,3	6,2	0,1301	0,511804 ± 9	0,511335	-11,6
PI-79	5,7	69,2	0,2385	0,717106 ± 22	0,715240	162,0	1,5	6,3	0,1412	0,511829 ± 6	0,511322	-11,9

ту елементів від Ва до Р, а починаючи з Sm відбувається стрімке зменшення їх в напрямку до Yb. На діаграмі виразно проявлені негативні піки вмісту Th, Sr, в деяких пробах і Rb, та позитивні піки K, P і Ti; Nb-Ta аномалія відсутня.

Порівняння хондритнормованого розподілу мікроелементів у габро-долеритах і базальтах трапової провінції Волині показує, що вміст некогерентних мікроелементів (від Ва до Ti) в габро-долеритах більший, ніж такий у базальтах, а помірно некогерентних елементів від Tb до Yb швидко скорочується. Вміст Yb в габро-долеритах майже такий, як в найбідніших на цей елемент базальтах.

**Ізотопний склад стронцію та неодиму.** Він досліджений автором та [6, 7] в 41 зразку, що репрезентують всі породні відміни трапової формації Волині. Безпосередньо автором ізотопний склад було досліджено у 19 зразках (табл. 3). За результатами досліджень виявлено цікаву закономірну варіацію ізотопного складу порід за розрізом формації.

Перш за все відзначимо, що всі зразки трапової формації мають негативні значення  $\epsilon Nd$  і позитивні  $\epsilon Sr$ , перераховані на вік в 550 млн рр. (рис. 5). Отже, всі вони мають доволі "розвинений" ізотопний склад і радше корові ізотопні характеристики, ніж мантійні. Найбільш "корові" характеристики мають пікрити, в яких  $\epsilon Nd$  становить  $-12$ , а  $\epsilon Sr$  варіює від 41 до 49. У базальтах заболотівської світи  $\epsilon Nd$  становить  $-1$ , а  $\epsilon Sr$  варіює від 7 до 20, тобто їх ізотопний склад є доволі примітивним. Низькотитанисті глиноземисті базальти бабинської світи мають такі ізотопні характеристики:  $\epsilon Nd$  варіює від  $-5$  до  $-9$ , а  $\epsilon Sr$  — від 36 до 95. Низькотитанисті базальти ратнівської світи мають дещо "примітивніший" ізотопний склад:  $\epsilon Nd$  варіює від  $-3$  до  $-7$ , а  $\epsilon Sr$  — від 44 до 68. Високотитанисті базальти ратнівської світи ще більш "примітивні":  $\epsilon Nd$  варіює від  $-1$  до  $-6$ , а  $\epsilon Sr$  — від 15 до 85. Нарешті, високотитанисті долерити мають ізотопний склад стронцію та неодиму, близький до встановленого у високотитанистих базальтах:  $\epsilon Nd$  в них варіює від  $-1$  до  $-3$ , а  $\epsilon Sr$  — від 30 до 34.

Як видно з цього опису, існує певна закономірність між ізотопним складом стронцію і неодиму в породах та їх положенням у розрізі волинської серії (рис. 5). Так, найбільш розвинений ізотопний склад мають пікрити, що залягають у підосві розрізу, вище їх заміню-

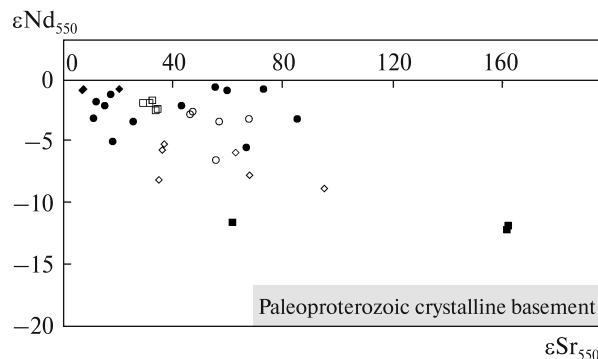


Рис. 5. Варіації ізотопного складу стронцію та неодиму в породах трапової формації Волині. Позначення див. на рис. 3

Fig. 5. Variations of the Sr and Nd isotopic compositions in the Volynian flood basalts. Legend see on Fig. 3

ють базальти зі все менш і менш розвинутим ізотопним складом (виключенням тут є базальти заболотівської світи). Найбільш примітивний ізотопний склад стронцію та неодиму притаманний високотитанистим базальтам ратнівської світи, що завершують розріз трапової формації. Близький ізотопний склад мають і високотитанисті долерити, які, можливо, виникли одночасно або дещо пізніше, ніж базальти якушівських верств. Автором виявлена також певна залежність між ізотопним та хімічним складом порід. Так, ізотопний склад неодиму проявляє чітку залежність від вмісту в породах  $TiO_2$  — зі збільшенням вмісту цього компонента відбувається і збільшення величини  $\epsilon Nd$  (рис. 6).

**Петрогенезис порід трапової формації Волині.** Хімічний склад мінералів та порід трапової формації Волині цілком закономірно змінюється за її розрізом. Зокрема, найбільш основні плагіоклази (до  $An_{86}Ab_{14}$ ) і високомагнезійні орто- ( $En_{82}Fs_{13}Wo_5$ ) та клінопіроксени ( $En_{59}Fs_9Wo_{32}$ ) характерні для пікритів. Крім того, ці породи містять вкраплення олівіну, а рудний мінерал тут переважно хроміт. Угору за розрізом волинської серії основність плагіоклазів і магнезійність піроксенів поступово зменшуються. Олівін ще наявний у базальтах бабинської світи, а вище за розрізом зникає зі складу порід. Зазначимо, що вкраплення плагіоклазу в базальтах ратнівської світи за складом дуже близькі до плагіоклазів основної маси пікритів або ж базальтів заболотівської світи.

Вміст  $Al_2O_3$  в ортопіроксенах поступово зростає знизу догори розрізу, а вміст гематитового міналу в ільменіті скорочується. Втім базальти бабинської світи дещо випадають із

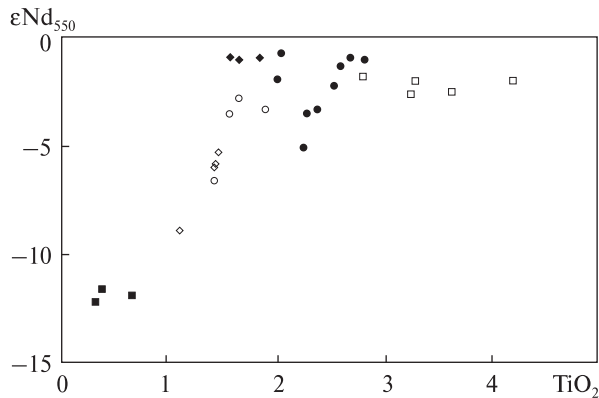


Рис. 6. Варіації ізотопного складу неодиму в породах трапової формації Волині в залежності від вмісту в них  $\text{TiO}_2$ . Позначення див. на рис. 3

Fig. 6. Variations Nd isotopic compositions vs  $\text{TiO}_2$  concentrations in the Volynian flood basalts. Legend see on Fig. 3

загального тренду — ортопіроксени в них є найбільш залізистими серед усіх базальтоїдних порід трапової формації Волині, а клінопіроксени містять найбільшу кількість  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  та збагачені на  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Інтрузивні долерити за складом мінералів близькі до базальтів ратнівської серії, але на відміну від них містять олівін замість ортопіроксену.

Магнезійність порід трапової формації також поступово і закономірно скорочується угору за розрізом від  $\#Mg = 69\text{—}73$  у пікритах до  $35\text{—}58$  у високотитанистих базальтах ратнівської світи. Магнезійність долеритових інтрузивів загалом відповідає такій у базальтах ратнівської світи.

Концентрація РЗЕ поступово зростає знизу вгору за розрізом, як і ступінь фракціонування РЗЕ. Втім існує виключення із цієї загальної тенденції — найвищий вміст РЗЕ притаманний базальтам бабинської світи. Окрім того, ці породи мають високий вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ba}$  та  $\text{Ni}$ . Негативна європейська аномалія притаманна пікритам та деяким зі зразків базальтів бабинської світи; слабка позитивна аномалія європейцю спостерігається в низькотитанистих базальтах ратнівської світи та високотитанистих долеритах.

Нарешті, ізотопний склад неодиму поступово зростає від  $\epsilon\text{Nd} = -12$  у пікритах до  $\epsilon\text{Nd} = -1\text{...}-6$  та  $-1\text{...}-3$  у високотитанистих базальтах ратнівської світи та долеритах відповідно. Проте і в цьому ряду є виключення — базальти заболотівської світи мають  $\epsilon\text{Nd} = -1$ .

Таким чином, знизу догори розрізу трапової формації Волині можна спостерігати такі закономірні зміни складу порід і мінералів: 1 — плагіоклази стають більш кислими, а піроксени, на загаль, більш залізистими. Виключенням тут є базальти бабинської світи, які містять найбільш залізисті ортопіроксени та найбільш вапнисті клінопіроксени; 2 — ступінь окиснення ільменітів зменшується, зі складу порід зникають хроміт та олівін; 3 — магнезійність порід поступово зменшується, як і вміст нікелю та хрому. Виключенням тут є знову-таки базальти бабинської світи, які характеризуються помірними вмістом хрому, але високим — нікелю; 4 — вміст легких РЗЕ та ступінь фракціонування зростають. І знову-таки виключенням є базальти бабинської світи, що мають найвищий вміст легких РЗЕ та найбільший ступінь фракціонування РЗЕ; 5 — ізотопний склад неодиму угору за розрізом стає все більш і більш "примітивним". Виключенням є базальти заболотівської світи, що характеризуються найбільш примітивним ізотопним складом неодиму і стронцію.

Будь-яка модель еволюції трапової формації Волині має базуватись на цих спостереженнях та адекватно їх пояснювати.

Поступове скорочення магнезійності порід знизу догори розрізу, зростання вмісту некогерентних елементів, а також закономірна зміна хімічного складу мінералів дозволяють запропонувати просту модель формування трапової формації Волині. На думку автора роботи [16], первинні розплави трапових провінцій за складом мають відповідати пікритам. У складі трапової формації Волині такі породи наявні у підшві розрізу. Цілком справедливим є припущення про те, що саме вони відповідають вихідним розплавам, а товща базальтових вулканітів, що залягає вище, — продукт їх диференціації. На користь такого припущення свідчить і асоціація мінералів-вкраплень у базальтах ратнівської світи, яка включає плагіоклаз, авгіт і титаномагнетит. За складом ці мінерали різко відмінні від мінералів основної маси, що свідчить про їх формування за інших умов, ніж основна маса, та з розплавом іншого складу. Водночас вкраплення за складом відповідають мінералам основної маси пікритів і олівінових базальтів заболотівської світи. Таким чином, асоціація мінералів-вкраплень починала кристалізуватись ще з примітивних вихідних розплавів пікритового

складу, а мінерали основної маси кристалізувались з пізніших низькомагнезійних розплавів, що зазнали значного фракціонування. Наявність в асоціації мінералів-вкраплень плагіоклазу свідчить про відносну малоглибинність її формування [19], отже, фракціонування, радше за все, відбувалось у межах земної кори. Лінійні тренди диференціації, що спостерігаються на варіаційних діаграмах, вказують на те, що фракціонування відбувалось за рахунок відсаження олівін-габрового парагенезису. Таким чином, різниця у складі базальтів різних світ волинської серії значною мірою пояснюється різницею у ступені фракціонування.

За багатьма ознаками (високий вміст некогерентних елементів, низьке значення співвідношення  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  тощо) високотитанисті долерити є більш диференційованими, ніж ефузиви трапової формації Волині. Якщо розглядати ці породи як найбільш пізні фракціонати вихідних розплавів трапової формації, то вони укладаються в загальний тренд еволюції. Поява високотитанистих базальтів може бути обумовлена фракціонуванням парагенезису мінералів, до складу яких не входить титан (а також цирконій та ніобій), тобто олівіну, клінопіроксену, хромшпінелі та, можливо, плагіоклазу. Автори роботи [24] наводять приклад еволюції вмісту  $\text{TiO}_2$  у пікритах та базальтах о-вів Воз'єднання. Фракціонування темноколірних мінералів (олівіну і клінопіроксену) призводить до помірного зростання вмісту  $\text{TiO}_2$  у залишкових розплавах. Проте поява у парагенезисі з ними плагіоклазу зумовлює стрімке збільшення вмісту титану у залишкових розплавах до 4–4,5 %. Втім у разі трапової формації Волині таке припущення не підтвержене — фракціонування плагіоклазу мало б призводити до появи значної негативної аномалії Європію на хондритнормованих діаграмах розподілу РЗЕ, а також до зростання негативної аномалії стронцію, чого насправді не спостерігається. Навпаки, долерити характеризуються помірною позитивною аномалією Європію. Отже, високий вміст титану та ніобію в найпізніших продуктах трапового магматизму Волині не може бути пояснений простим фракціонуванням габрового парагенезису мінералів.

Крім того, геохімічні та ізотопно-геохімічні дані однозначно вказують на те, що ефузиви різних світ волинської серії та інтрузивні до-

лерити не можуть бути продуктом диференціації єдиного вихідного розплаву, який відповідав би за складом пікритам горбашівської світи. Зокрема, якби всі ефузивні породи волинської серії були продуктом диференціації розплаву, з якого сформувались пікритові потоки у складі горбашівської світи, то вони б мали значно більш "розвинений" ізотопний склад стронцію та неодиму, ніж наявний. Навпаки, більш пізні ефузивні породи трапової формації Волині мають значно "примітивніший" ізотопний склад, ніж пікрити. Найбільш характерним з цієї точки зору є ізотопний склад олівінових базальтів заболотівської світи, які формувались одразу після виливів пікритів, але мають кардинально інші ізотопні характеристики. Отже, вони формувались із різних порцій мантійних розплавів, що мали різну історію формування і, можливо, походять із різних джерел.

Серед геохімічних ознак існування декількох вихідних розплавів можна зазначити склад базальтів бабинської світи. Зокрема, ці породи мають високий вміст нікелю і ніобію та помірний — хрому (рис. 3, 4), чим різко відрізняються від всіх інших порід трапової формації Волині — "примітивні" пікрити та високомагнезійні базальти заболотівської світи мають високий вміст хрому та нікелю і водночас низький — ніобію. Відносно розвинені високотитанисті базальти ратнівської світи, навпаки, мають низький вміст когерентних елементів та підвищений — ніобію. Комбінація високих значень вмісту когерентного (нікель) та некогерентного (ніобій) елементів не могла утворитись внаслідок процесів фракціонування, а є свідченням особливого складу вихідного розплаву, який, вочевидь, був збагачений на ніобій. Як зазначено вище, окрім високого вмісту ніобію, базальти бабинської світи характеризуються також високим вмістом легких РЗЕ, калію та барію, що можна було б пояснити короною контамінацією. Проте таке припущення суперечить високому вмісту ніобію (корова контамінація мала б призводити до негативних аномалій вмісту ніобію, чого не спостерігається) та відносно "примітивному" ізотопному складу неодиму — величина  $\epsilon\text{Nd}$  в базальтах бабинської світи, хоча і є значно нижчою, ніж в інших базальтах волинської серії, водночас є суттєво вищою, ніж у пікритах. Отже, геохімічний склад базальтів бабинської світи успадковує геохімічні

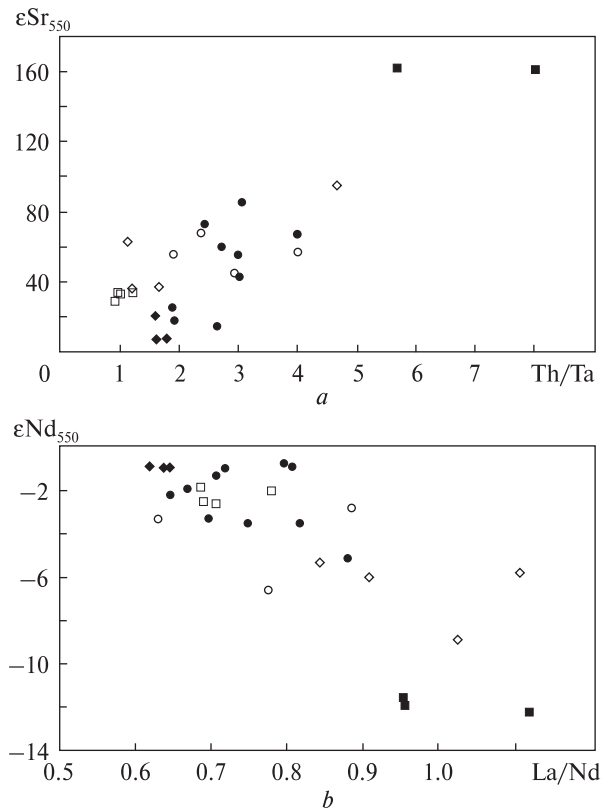


Рис. 7. Діаграма для визначення впливу корової контамінації на породи трапової формації Волині в координатах: *a* —  $Th/Ta$  —  $\epsilon Sr$ ; *b* —  $La/Nd$  —  $\epsilon Nd$ . Позначення див. на рис. 3

Fig. 7. Diagrams that demonstrate level of crustal contamination in the Volynian flood basalts: *a* — plot  $Th/Ta$  vs  $\epsilon Sr$ ; *b* — plot  $La/Nd$  vs  $\epsilon Nd$ . Legend see on Fig. 3

особливості вихідного розплаву, який характеризувався високим вмістом некогерентних елементів, включаючи ніобій.

На думку автора, ефузиви кожної зі світ волинської серії (пікрити горбашівської світи, базальти заболотівської та бабинської світ, а також високо- і низькотитанисті базальти ратнівської світи) формувались із окремих порцій мантійних розплавів, кожна із яких мала специфічні геохімічні та ізотопні характеристики. Інтрузивні сили високотитанистих долеритів та високотитанисті базальти ратнівської світи формувались, вочевидь, з єдиного вихідного розплаву. Тут цікаво зазначити, що кожен із циклів вулканізму в межах трапової провінції Волині відокремлюється один від одного доволі потужними туфовими товщами або ж перервами у вулканічній діяльності.

Кожна з порцій мантійного розплаву мала, вочевидь, пікритовий склад, але зазнавала фракціонування різної інтенсивності. На за-

гал, фракціонування габроїдного (або олівін-габроїдного, олівін + клінопіроксен + плагіоклаз + хроміт) парагенезису мінералів має призводити до збільшення вмісту некогерентних та скорочення вмісту когерентних (в першу чергу нікелю і хрому) елементів, а також до скорочення магнезальності порід. Втім фракціонування не повинно істотно впливати на співвідношення між парами некогерентних елементів, а також на характер хондритнормованого розподілу РЗЕ (за виключенням появи європейської аномалії). Таким чином, співвідношення між парами некогерентних елементів навіть у фракціонованих базальтах має зберігатись таким же, яким воно було у вихідних мантійних розплавах.

Одним із найкращих способів оцінити вплив корової контамінації на мантійні розплави є діаграма в координатах  $Th/Ta$  —  $\epsilon Sr$  (рис. 7). Верхньокорові породи характеризуються високим співвідношенням  $Th/Ta$  та високим початковим співвідношенням  $^{87}Sr/^{86}Sr$  (або в даному разі величиною  $\epsilon Sr$ ), тоді як мантійним породам притаманні низькі значення цих величин. З рис. 7 видно, що найменшого впливу корової контамінації зазнали олівінові базальти заболотівської світи — їхній склад наближується до такого, який мали вихідні мантійні розплави. Помірно контаміновані також високотитанисті долерити та деякі з високотитанистих базальтів ратнівської світи. Подібного ж висновку можна дійти, розглядаючи діаграму в координатах  $La/Nd$  —  $\epsilon Nd$  (рис. 7, *b*), яка також використовується для оцінки корової контамінації [23].

Якщо розглядати трапову провінцію Волині в цілому, то стає очевидним, що ступінь корової контамінації поступово скорочується в пізніших продуктах вивержень — найбільш контамінованими є пікрити, дещо менше — базальти бабинської світи, низько- та високотитанисті базальти ратнівської світи та високотитанисті долерити інтрузивних силів. Найменш контаміновані базальти заболотівської світи випадають з цього ряду.

Подібна ситуація спостерігається у траповій провінції Емейшен (*Emeishan*) в південно-західному Китаї [28], де збагачені на некогерентні елементи та менш контаміновані високотитанисті базальти перебивають низькотитанисті відміни цих порід. Скорочення ступеня контамінації з часом у зазначеній роботі пояснено зменшенням асиміляції вмісних по-

рід у системі підвідних каналів, оскільки під час послідовних вивержень породи оточення поступово деплетуються на легкоплавкий матеріал, який може контамінувати розплави.

На думку автора, така модель певною мірою могла мати місце, особливо у відношенні перших, найбільш високотемпературних пікритових розплавів, які виявляються найбільш контамінованими з усіх порід. З часом система підвідних каналів "промивалася" свіжими порціями розплавів і ступінь контамінації пізніших порцій поступово скорочувався. Втім у таку модель зовсім не вкладаються базальти заболотівської світи, найменше контаміновані короною речовиною з усіх порід трапової формації Волині. Вочевидь, це вказує на те, що різні порції розплавів формувались у різних ділянках мантії та вкорінювались по різних системах каналів. Тому загальне зменшення ступеня контамінації розплавів з часом може означати не деплекцію стінок підвідних каналів, а міграцію джерела плавлення у менш контаміновану область.

Особливо показовими є діаграми, на які винесено співвідношення між парами мікроелементів у базальтах Волині, а також у нижній корі та базальтах океанічних о-вів (БОО, рис. 8, *a*). На всіх подібних діаграмах ефузивні породи трапової формації Волині розташовуються між полями БОО та точкою середнього складу нижньої кори. Це є ще одним свідченням того, що джерело базальтів мало мішаний склад — матеріал плюму (аналогічний до того, з якого формуються БОО), матеріал літосферної мантії та нижньої кори.

Цікаво також розглянути діаграму в координатах  $Dy/Yb - La/Yb$  (рис. 8, *b*). Ця діаграма показує співвідношення між значеннями вмісту середніх та важких РЗЕ ( $Dy/Yb$ ) і легких та важких РЗЕ ( $La/Yb$ ) для оцінки відносної глибини плавлення джерела і ступеня його плавлення. Збільшення ступеня плавлення відображається у зменшенні значення  $La/Yb$ , оскільки за незначного плавлення гранат все ще лишається в мантійному реститі, тож профіль РЗЕ є сильно фракціонованим (високе значення співвідношення легких до важких РЗЕ). Внаслідок виснаження джерела через істотне плавлення гранат зникає з реститу і профіль РЗЕ стає менш фракціонованим. Водночас співвідношення  $Dy/Yb$  відображає відносну кількість гранату у джерелі. З заглибленням джерела кількість гранату зростає

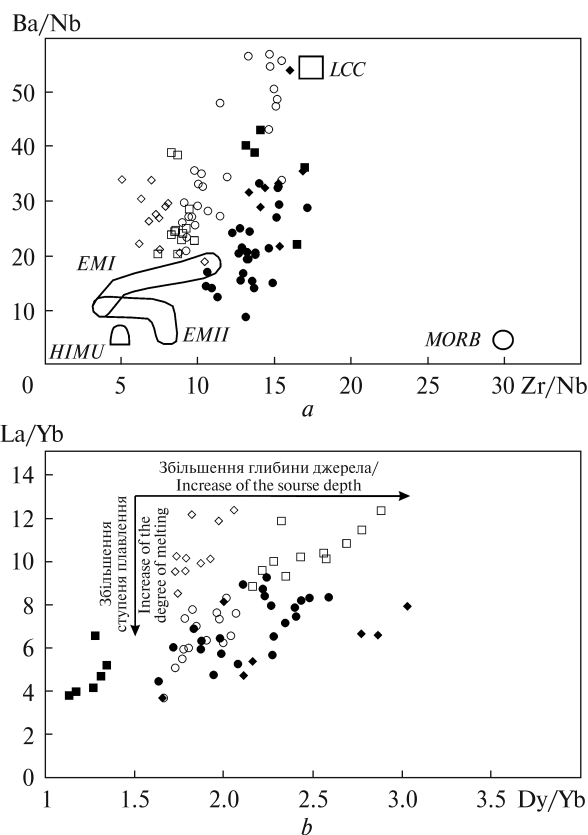


Рис. 8. *a* — співвідношення пар елементів ( $Zr/Nb$  та  $Ba/Nb$ ) у породах трапової формації Волині. Для порівняння винесено також склад базальтів океанічних о-вів (*HIMU*, *EMI* та *EMII*, за [25]), базальтів середньо-океанічних хребтів (*MORB*, за [25]), а також нижньої континентальної кори (*LCC*, за [26]); *b* — положення порід трапової формації Волині на діаграмі  $Dy/Yb - La/Yb$ , яка характеризує ступінь плавлення та глибину розташування мантійного джерела. Позначення див. на рис. 3

Fig. 8. *a* — relation of pairs of trace element ( $Zr/Nb$  vs  $Ba/Nb$ ) in the Volynian flood basalts. Compositions of the ocean island basalts (*HIMU*, *EMI* and *EMII*, [25]), mid-ocean ridge basalts (*MORB*, [25]), and low continental crust (*LCC*, [26]) are shown for comparison; *b* — distribution of the Volynian flood basalts on the  $Dy/Yb$  vs  $La/Yb$  that deciphers degree of partial melting and depth of the location of the initial melts source. Legend see on Fig. 3

(відбувається перехід від шпінелевої фації глибинності до гранатової), відповідно, зростає значення  $Dy/Yb$ . На рис. 8, *b* чітко видно, що найранішні породи трапової формації є відносно малоглибинними і характеризуються високим ступенем плавлення. Проте з розвитком магматизму джерело стає все більш глибинним, а ступінь плавлення — все меншим.

У більшості трапових провінцій світу існує чітке розділення ефузивних порід на високо-

та низькотитанисті. Походження цих відмін є однією із найбільш цікавих і складних проблем сучасної петрології магматичних порід.

Високотитанисті породи завжди збагачені на некогерентні елементи у порівнянні із низькотитанистими відмінами, а також мають більш фракціонований розподіл РЗЕ. Окрім того, характерною особливістю є просторове розділення високо- та низькотитанистих відмін — вони або утворюють різні ареали розповсюдження, або ж формують різні частини розрізу трапових формацій.

На загал, можна виділити кілька гіпотез, за допомогою яких пояснюється походження цих двох типів порід. Серед них такі:

- різний ступінь плавлення мантіїної речовини (високотитанисті базальти є продуктом нижчого ступеня плавлення) [22]. Цю різницю пояснюють: 1 — різною відстанню від осьової частини мантіїного плюму: низькотитанисті породи утворились за рахунок значного плавлення в осьовій частині, а високотитанисті розплави — менш інтенсивного плавлення в більш холодній периферійній частині плюму [17]; 2 — різною потужністю літосфери, від якої залежить ступінь плавлення сублітосферної (астеносферної) мантії. За такої моделі, під потужною літосферою процес плавлення є дуже обмеженим і відбувається за присутності залишкового гранату, що призводить до утворення високотитанистих базальтів, збагачених на некогерентні елементи. За умов потоншеної літосфери плавлення може бути більш інтенсивним і відбуватись у полі стабільності шпінелі, що призводить до формування низькотитанистих базальтів [13];

- різниця у хімічному складі мантіїних джерел [12, 23, 27];

- різниця у хімічному складі літосферної мантії [18, 21], яка може бути або джерелом вихідних розплавів, або речовиною, що їх контамінує.

У траповій провінції Волині високо- та низькотитанисті магматичні породи чітко розрізняються за рівнем збагачення на некогерентні елементи, а також за рівнем корової контамінації. Водночас ступінь диференціації цих порід, виражений у їх магнезійності, практично співпадає. Таким чином, високотитанисті породи не могли утворитись завдяки фракціонуванню низькотитанистих розплавів. Геохімічні дані (рис. 8, *b*) вказують на те, що високотитанисті породи утворились за

умов менш інтенсивного плавлення і на більшій глибині, ніж низькотитанисті. Натомість останні зазнали значно більшої контамінації коровою речовиною. На думку автора, геохімічні дані свідчать про поступову міграцію джерела плавлення углиб. У цей час плавлення ставало менш інтенсивним, а розплави збагачувались на некогерентні елементи.

*Пікрити горбашівської світи* є найбільш примітивними ефузивними породами у складі трапової формації Волині. Зокрема, вони характеризуються найбільшою магнезійністю, найбільшим вмістом когерентних та низьким вмістом некогерентних елементів. Але при цьому вони також найбільш контаміновані — співвідношення некогерентних елементів у них наближується до характерного для порід нижньої кори, а ізотопний склад стронцію та неодиму набуває типових корових значень. Втім така контамінованість пояснюється низьким "базовим" вмістом некогерентних елементів у пікритових розплавах — навіть невелика домішка корового матеріалу на тлі дуже низького вмісту "власних" хімічних елементів у пікритах може утворити картину "корових" геохімічних характеристик.

Характер розподілу РЗЕ в пікритах вказує на їх походження завдяки високому ступеню плавлення мантіїного джерела на помірній глибині (у межах поля стабільності шпінелевих перидотитів).

Як зазначалося вище, пікрити мають значні негативні аномалії вмісту ніобію, стронцію, фосфору та титану. Ці аномалії (особливо стронцію та фосфору) різною мірою властиві всім ефузивним породам трапової формації Волині. Подібні геохімічні характеристики були виявлені також і в низькотитанових базальтах трапових формацій Гондвани [20], автори якої стверджують, що такі характеристики притаманні лише породам, що походять з субконтинентальної літосферної мантії, і відсутні в інших типах базальтів (БСОХ, БОО, БАКО). Якщо мантіїний плюм і мав якийсь вплив на походження цих порід, то він обмежувався лише тепловим ефектом.

*Базальти заболотівської світи* є найменш контамінованими серед усіх порід трапової провінції Волині (рис. 8, *a*). Вони мають високу магнезійність, порівняно високий вміст когерентних елементів, а також низький вміст некогерентних мікроелементів. Більшість із досліджених проб базальтів цієї світи має зна-

чні позитивні аномалії вмісту рубідію та калію, які автор пояснює або контамінацією коровим матеріалом під час вкорінення розплавів, або ж післямагматичним привнесенням цих елементів. У жодному разі позитивна аномалія вмісту рубідію не була характерною для джерела, з якого виплавлялись вихідні для базальтів розплави — інакше ми спостерігали б набагато більш "розвинений" ізотопний склад стронцію. Якщо аномалії рубідію та калію "прибрати", то ми отримуємо типовий "деплетований" спектр хондритнормованого розподілу мікроелементів, який характеризується "куполоподібним" профілем. Отже, джерело базальтів заболотівської світи було деплетованим некогерентними мікроелементами. Водночас ці базальти, хоча і є "найпримітивнішими" щодо ізотопного складу стронцію та неодиму, тим не менш не виявляють ізотопних характеристик, типових для деплетованої мантиї. Радше за все ці базальти походять з деплетованого літосферного мантийного джерела. Глибина плавлення цього джерела могла бути різною, очевидно, в зоні переходу від гранатових до шпінелевих перидотитів, а ступінь плавлення був доволі значним.

*Базальти бабинської світи* помірно контаміновані короною речовиною і, вочевидь, є продуктом плавлення літосферної мантиї на глибині, що відповідає переходу від шпінелевих до гранатових перидотитів.

*Низькотитанисті базальти лучківських верств ратнівської світи* походять, вочевидь, з того самого джерела, що і базальти бабинської світи, але ступінь плавлення дещо зростає, що призводить до помірного зубожіння цих порід на некогерентні мікроелементи. При цьому базальти лучківських верств мають геохімічний склад, дуже близький до складу порід нижньої континентальної кори, що свідчить про їх контамінацію нижньокоровим матеріалом. Втім ізотопний склад стронцію та неодиму в цих породах більш "примітивний", ніж у базальтах бабинської світи.

*Високотитанисті базальти якушівських верств ратнівської світи* належать до найменш контамінованих порід трапової формації Волині (рис. 7, 8). За геохімічними та ізотопно-геохімічними ознаками вони подібні до порід, що походять із плюмового матеріалу — джерелом їх була збагачена мантия. Очевидно, початок формування високотитанистих базальтів та долеритів знаменує собою перехід джерела

плавлення з літосферної мантиї до сублітосферної — плюмового матеріалу.

Базальти якушівських верств утворювались за доволі високого ступеня плавлення на значній глибині, а внаслідок переходу до джерела, з якого утворювались високотитанисті долерити, глибина джерела суттєво зростала, а ступінь плавлення — зменшувався.

За петро- і геохімічними особливостями *високотитанисті долерити* не мають аналогів серед базальтів. Найближчими до них за рівнем збагачення на мікроелементи є високотитанисті базальти якушівських верств ратнівської світи. Про це ж свідчить ізотопний склад стронцію та неодиму в долеритах. Втім значущою відмінністю високотитанистих базальтів від долеритів є наявність у перших піжоніту, а в других — олівіну. Таку відмінність можна пояснити іншими умовами кристалізації долеритів — за більш повільної кристалізації на субвулканічному рівні олівін утворювався замість піжоніту, присутнього в базальтах.

На думку автора, високотитанисті долерити є найбільш пізнім продуктом трапового магматизму Волині.

**Висновки.** 1. Знизу догори розрізу трапової формації Волині спостерігаються такі закономірні зміни складу порід і мінералів: 1 — плагіоклази стають більш кислими, а піроксени, на загал, більш залістими. Виключенням тут є базальти бабинської світи, які містять найбільш залісті ортопіроксени і найбільш вапнисті клінопіроксени; 2 — ступінь окиснення ільменітів зменшується, зі складу порід зникають хроміт і олівін; 3 — магнезійність порід, вміст нікелю і хрому поступово знижуються. Виключенням є базальти бабинської світи, які характеризуються помірним вмістом хрому, але високим — нікелю; 4 — вміст легких РЗЕ та ступінь фракціонування зростають. І знову виключенням є базальти бабинської світи, які мають найвищий вміст легких РЗЕ та найвищий ступінь фракціонування РЗЕ; 5 — ізотопний склад неодиму вгору за розрізом стає все більш "примітивним". Виключенням є базальти заболотівської світи, що характеризуються найбільш "примітивним" ізотопним складом неодиму і стронцію.

2. Ефузиви кожної зі світ волинської серії формувались із окремих порцій мантийних розплавів, кожна із яких мала специфічні геохімічні та ізотопні характеристики. Інтрузиви високотитанистих долеритів і високотитанис-



ті базальти якушівських верств ратнівської світи формувались, вочевидь, з єдиного вихідного розплаву. Кожен із циклів вулканізму відокремлюється один від одного туфовими товщами або ж перервами у вулканічній діяльності.

3. Джерелом вихідних розплавів для ефузивних порід волинської серії була літосферна речовина, але з часом глибина джерела збільшувалась. Початок формування високотитанистих розплавів знаменує перехід осередку плавлення в сублітосферну мантію, де джерелом плавлення була плюмова речовина. Породини різних світ зазнавали різного ступеня контамінації короною (та, вірогідно, мантіїнолітосферною) речовиною, а також розрізнялись між собою за геохімічними характеристиками джерел.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Бирюлев А.Е.* О стратиграфии волинской серии (верхний докембрий) Волини // Сов. геология. — 1968. — № 3. — С. 23—28.
2. *Кузьменкова О.Ф., Носова А.А., Веретенников Н.В.* Минералогия и петрогенезис вендских базальтов и долеритов Беларуси // Літасфера. — 2008. — 28, № 1. — С. 76—95.
3. *Махнач А.С.* Эффузивные породы среднего состава вендского комплекса Брестской впадины // Докл. АН БССР. — 1968. — 12, № 2. — С. 148—151.
4. *Махнач А.С., Веретенников Н.В.* Вулканогенная формация верхнего протерозоя (венда) Белоруссии. — Минск : Наука и техника, 1970. — 236 с.
5. *Носова А.А., Веретенников Н.В., Кузьменкова О.Ф.* Вендские траппы запада Восточно-Европейского кратона (Волинская провинция): геохимические, минералогические, изотопные (Sr, Nd) данные и вопросы петрогенезиса // Происхождение магматических пород : Материалы междунар. (X всерос.) петрограф. совещ. "Петрография XXI века" (г. Апатиты, 20—22 июня 2005 г.). — Апатиты : Изд-во Кол. науч. центра, 2005. — Т. 2. — С. 163—165.
6. *Носова А.А., Веретенников Н.В., Левский Л.К.* Природа мантийного источника и особенности коровой контаминации неопротерозойских траппов Волинской провинции (Nd- и Sr-изотопные и ICP-MS-геохимические данные) // Докл. Акад. наук. — 2005. — 400, № 4. — С. 1—5.
7. *Носова А.А., Кузьменкова О.Ф., Веретенников Н.В. и др.* Неопротерозойская Волинско-Брестская магматическая провинция на западе Восточно-Европейского кратона : особенности внутриплитного магматизма в области древней шовной зоны // Петрология. — 2008. — 16. — С. 115—147.
8. *Шумлянський Л.В.* Геохімічні особливості та генезис базальтів ратненської світи вендської трапової формации Волині // Мінерал. журн. — 2008. — 30, № 1. — С. 48—65.
9. *Шумлянський Л., Деревська К.* Перші Sm-Nd та Rb-Sr ізотопно-геохімічні дані стосовно вендських базальтів Волині // Наук. пр. Ін-ту фундам. досліджень. — К. : Знання, 2001. — С. 67—75.
10. *Шумлянський Л.В., Кузьменкова О.Ф., Цимбал С.М. та ін.* Геохімія та ізотопний склад Sr і Nd в інтрузивних тілах високотитанистих долеритів Волині // Мінерал. журн. — 2011. — 33, № 2. — С. 72—82.
11. *Шумлянський Л.В., Шумлянський В.О., Деревська К.І.* Петрологія кам'яних базальтів // Наук. пр. Ін-ту фундам. досліджень. — К. : Знання, 2009. — С. 40—46.
12. *Arndt N.T., Christensen U.* The role of lithospheric mantle in continental flood volcanism : thermal and geochemical constraints // J. Geophys. Res. — 1992. — 97, No B7. — P. 10967—10981.
13. *Arndt N.T., Czamanske G.K., Wooden J.L., Fedorenko V.A.* Mantle and crustal contributions to continental flood volcanism // Tectonophysics. — 1993. — 223. — P. 39—52.
14. *Bakun-Czubarow N., Bialowolska A., Fedoryshyn Yu.* Neoproterozoic flood basalts of Zabolotta and Babino beds of the volcanogenic Volhynian series and Polesie series dolerites in the western margin of the East European craton // Acta Geol. Polonica. — 2002. — 52, No 4. — P. 481—496.
15. *Bialowolska A., Bakun-Czubarow N., Fedoryshyn Yu.* Neoproterozoic flood basalts of the upper beds of the Volhynian series (East European craton) // Geol. Quatern. — 2002. — 46, No 1. — P. 37—57.
16. *Cox K.G.* A model for flood basalt vulcanism // J. Petrol. — 1980. — 21. — P. 629—650.
17. *Fodor R.V.* Low- and high-TiO<sub>2</sub> flood basalts of southern Brazil : origin from picritic parentage and a common mantle source // Earth and Planet. Sci. Lett. — 1987. — 84. — P. 423—430.
18. *Gibson S.A., Thompson R.N., Dickin A.P., Leonardos O.H.* Mafic potassic magmatic key to plume-lithosphere interactions and continental flood-basalts // Ibid. — 1996. — 141. — P. 325—341.
19. *Green D.H., Ringwood A.E.* The genesis of basaltic magmas // Contribs Mineral. and Petrol. — 1967. — 15. — P. 103—190.
20. *Hergt J.M., Peate D.W., Hawkesworth C.J.* The petrogenesis of Mesozoic Gondwana low-Ti flood basalts // Earth and Planet. Sci. Lett. — 1991. — 105. — P. 134—148.
21. *Krzemińska E.* The late Neoproterozoic flood basalts of eastern Poland // Наук. пр. Ін-ту фундам. досліджень. — 2006. — Вип. 10. — С. 59—170.
22. *Peate D.W.* The Paraná-Etendeka province // Large igneous provinces : continental, oceanic and planetary flood volcanism // Geophysical monograph. — 1997. — Vol. 100. — P. 217—241.
23. *Peate D.W., Hawkesworth C.J.* Lithospheric to asthenospheric transition in low-Ti flood basalts from southern Paraná, Brazil // Chem. Geol. — 1996. — 127. — P. 1—24.

24. *Prytulak J., Elliot T.* TiO<sub>2</sub> enrichment in ocean island basalts // *Earth and Planet. Sci. Lett.* — 2007. — **263**. — P. 388–403.
25. *Rollinson H.* Using geochemical data : evaluation, presentation, interpretation. — Longman, 1998. — 352 p.
26. *Rudnick R.L., Gao S.* The Composition of the Continental Crust // *The Crust.* — Oxford : Elsevier-Pergamon, 2003. — P. 1–64. — (Treatise on Geochemistry / Eds H.D. Holland, K.K. Turekian; Vol. 3).
27. *Smithies R.H., Van Kranendonk M.J., Champion D.C.* It started with a plume — early Archaean basaltic protocontinental crust // *Earth and Planet. Sci. Lett.* — 2005. — **238**. — P. 284–297.
28. *Xu Y., Chung S.-L., Jahn B., Wu G.* Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China // *Lithos.* — 2001. — **58**. — P. 145–168.

Надійшла 15.05.2012

*Л.В. Шумлянський*

#### ЭВОЛЮЦИЯ ВЕНДСКОГО ТРАПОВОГО МАГМАТИЗМА ВОЛИНИ

Отложения волинской серии венда широко распространены на северо-западе Украины, юго-западе Беларуси и востоке Польши. На территории Украины вулканогенная толща сложена вулканитами основного и ультраосновного состава. Кроме того, среди отложений рифейской полесской серии известны интрузивные тела долеритов. На территории Украины траптовая формация представлена такими типами эффузивных и интрузивных пород (сверху вниз): 1 — высокотитанистые толеитовые базальты якушिवских слоев ратненской свиты; 2 — низкотитанистые низкониобиевые толеитовые базальты нижней части ратненской свиты (лучичивские слои); 3 — низкотитанистые глиноземистые базальты бабинской свиты; 4 — оливиновые базальты заболотьевской свиты; 5 — локально распространенные пикриты в составе горбашевской свиты; 6 — силлы оливиновых долеритов и габбро-долеритов среди пород полесской серии. Химический состав минералов и пород формации закономерно варьирует по ее разрезу. В частности, наиболее основные плагиоклазы (до An<sub>86</sub>Ab<sub>14</sub>), высокомагнезиальные орто- (En<sub>82</sub>Fs<sub>13</sub>Wo<sub>5</sub>) и клинопироксены (En<sub>59</sub>Fs<sub>9</sub>Wo<sub>32</sub>) характерны для пикритов. Кроме того, эти породы содержат вкрапленники оливина, а рудный минерал представлен преимущественно хромитом. Вверх по разрезу волинской серии основность плагиоклазов и магнезиальность пироксенов постепенно уменьшаются. Оливин еще присутствует в базальтах бабинской свиты, а выше по разрезу уже исчезает из состава пород. Вкрапленники плагиоклаза в базальтах ратненской свиты по составу очень близки к плагиоклазам основной массы пикритов или же базальтов заболотьевской свиты. Интрузивные долериты по составу минералов подобны базальтам ратненской свиты, но, в отличие от них, содержат оливин вместо ортопироксена. Магнезиальность пород формации постепенно и закономерно уменьшается вверх по раз-

резу от #Mg = 69–73 в пикритах до 35–60 в высокотитанистых базальтах ратненской свиты и интрузивных долеритах. Концентрация P3Э и степень их фракционирования постепенно возрастает снизу вверх по разрезу. Однако существует и исключение из этой общей тенденции — наиболее высокая концентрация P3Э присуща базальтам бабинской свиты. Негативная европиевая аномалия характерна для пикритов и некоторых из базальтов бабинской свиты; слабая положительная аномалия европия наблюдается в низкотитанистых базальтах ратненской свиты и в высокотитанистых долеритах. Изотопный состав неодима постепенно возрастает от εNd = –12 в пикритах до εNd = –1...–6 и –1...–3 в высокотитанистых базальтах ратненской свиты и долеритах соответственно. Однако и в этом ряду существует исключение — базальты заболотьевской свиты имеют εNd = –1. Эффузивы каждой из свит волинской серии формировались из отдельных порций мантийных расплавов, каждая из которых имела специфические геохимические и изотопные характеристики. Каждый из циклов вулканизма отделяется друг от друга туфовыми толщами или же перерывами в вулканической деятельности. Источником исходных расплавов было литосферное вещество, но со временем глубина источника возрастала. Начало формирования высокотитанистых базальтов знаменует переход очага плавления в сублитосферную мантию, где источником плавления было плюмовое вещество. Породы разных свит в разной мере испытывали контаминацию коровым (и, вероятно, мантийно-литосферным) веществом, а также различались между собой по геохимическим характеристикам источников.

*L.V. Shumlyansky*

#### EVOLUTION OF THE VENDIAN CONTINENTAL FLOOD BASALT VOLCANISM IN THE VOLYN

Deposits of the Vendian Volyn series are widely distributed on the northwest of Ukraine, south-west of Belarus and east of Poland. In Ukraine the flood basalts sequence is composed by mafic and ultramafic volcanics. Beside these, there are dolerite intrusions known to cut terrigenous deposits of the Riphean Polissya Series. Flood basalts sequence includes the following types of effusive and intrusive rocks (from the up downwards): 1 — high-Ti tholeiitic basalts of the Yakushi strata of the Ratne suite; 2 — low-Ti and -Nb tholeiitic basalts of the bottom part of the Ratne suite (Luchichiv strata); 3 — low-Ti, high-Al basalts of the Babino suite; 4 — olivine basalts of the Zabolottya suite; 5 — locally developed picrites in the Gorbashi suite; 6 — sheet-like bodies of olivine dolerite and gabbro-dolerite among terrigenous rocks of the Polissya Series. Chemical compositions of minerals and whole-rocks vary regularly in the vertical section of the Volyn Series. In particular, calcic plagioclases (up to An<sub>86</sub>Ab<sub>14</sub>), and magnesian orthopyroxene (En<sub>82</sub>Fs<sub>13</sub>Wo<sub>5</sub>) and clinopyroxene (En<sub>59</sub>Fs<sub>9</sub>Wo<sub>32</sub>) are characteristic for picrites. These rocks contain olivine phenocrysts while opaque mineral is represented by chromite. Upward in the section plagioclase be-

comes more sodic and pyroxenes — more ferrous. Olivine is still present in the Babino suite basalts but disappear in basalts of the Ratne suite. Plagioclase phenocrysts found in the Ratne suite basalts are very close in composition to groundmass plagioclases of picrite or Zabolottya suite basalts. Intrusive dolerites are similar in mineral chemistry to the Rante suite basalts but contain olivine instead of orthopyroxene. Whole rock Mg-number gradually decreases upward in the section from #Mg = 69–73 in picrite to 35–60 in high-Ti basalts of the Ratne suite and intrusive dolerites. REE abundances and degree of their fractionation gradually increases upwards in the section. However, there is an exception from the general tendency of REE evolution — highest REE concentrations were revealed in the Babino suite basalts. Negative Eu anomaly is characteristic for picrites and some of the Babino suite basalts while weak positive Eu anomaly was found in low-Ti basalts of

the Ratne suite and in dolerites.  $\epsilon\text{Nd}$  in rocks gradually increases from –12 in picrites to –1...–6 in high-Ti Ratne basalts and to –1...–3 in dolerites. However, there is another exception from this regularity — highest  $\epsilon\text{Nd}$  values were found in Zabolottya suite basalts ( $\epsilon\text{Nd} = -1$ ). Effusive rocks of each of the suites of the Volyn Series were formed from separate batches of mantle melts. Every of these batches had specific geochemical and isotopic features. All of the cycles of effusive activity are separated from each other by tuff horizons or by temporal cessation in the volcanic activity. Source of the initial melts was represented by lithospheric rocks. With time the source of melting gradually deepened and formation of high-Ti basalts indicates migration of the site of melting into the sub-lithospheric mantle. Each of the batches of the initial melts experienced various contamination by crystal substance and differed by geochemical features of their sources.