

УДК 550.42 : 553.494'311

Л.В. Шумлянський

ГЕОХІМІЧНІ ТА ІЗОТОПНО-ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОРІД ФЕДОРІВСЬКОГО ІЛЬМЕНІТ-АПАТИТОВОГО РОДОВИЩА, КОРОСТЕНСЬКИЙ ПЛУТОН

В статті розглянуто особливості хімічного складу порід Федорівського розшарованого інтрузиву. Показано, що всі породи формувались з єдиного вихідного розплаву йотунітового складу. За своїм ізотопним складом та віком Федорівський інтрузив цілком подібний до інших масивів пізньої габроїдної серії Коростенського плутону, а також до анортозитів головної серії. Нижня зона інтрузиву утворилась під час кристалізації мінерального парагенезису, що включав олівін, авгіт, ільменіт та плагіоклаз. У центральній розшарованій та у верхній крайовій зонах до цих мінералів додалися титаномагнетит і апатит. Закономірна еволюція складу порід за розрізом інтрузиву пов'язана з еволюцією складу розплаву, що відбувалась завдяки фракціонуванню.

Вступ. Геологічна будова та хімічний склад мінералів Федорівського ільменіт-апатитового родовища були детально розглянуті у попередніх публікаціях [2, 3, 6]. Водночас у вітчизняній літературі практично відсутні відомості про речовинний (у тому числі ізотопний) склад порід, що утворюють родовище. Втім ці відомості є вкрай важливими як для розуміння генезису Федорівського родовища, так і для дослідження загальних закономірностей формування рудних покладів цього типу. Запропонована стаття містить нові відомості про хімічний склад порід, що утворюють Федорівське родовище, а також результати ізотопно-геохімічного дослідження порід і мінералів інтрузиву.

Геологічна будова Федорівського інтрузиву, що вміщує однойменне ільменіт-апатитове родовище, детально описана в роботах [2, 3, 6], тому ми не будемо зупинятись на цьому питанні. Погляди авторів роботи [2] на геологічну будову інтрузиву дещо відрізняються від авторських, що вперше були викладені у роботі [8], згідно з якою в будові південної частини Федорівського інтрузиву виділяються три головні горизонти (зони) — нижня, центральна розшарована і верхня крайова.

Нижня зона (LZ) простягається від 322,2 (нижній контакт) до 248,5 м. За вмістом мінералів у її межах можна виділити два нечітких горизонти: нижній — від контакту до приблизно 277 м, і верхній — від 277 до 248,5 м. Нижній (приконтартовий) горизонт складений мезократовим олівіновим габро, в той час як верхній — дуже бідним на апатит меланократовим олівіновим габро (табл. 1).

Центральна розшарована зона (MZ) розташована на глибині 248,4—110 м. У її межах дещо умовно також можна виділити два горизонти. На глибині 248,4—200 м залягають мезократові олівінові габро, що характеризуються несталим модальним мінеральним складом. Вище, від 200 до 110 м, залягає складений збагаченим на апатит меланократовим олівіновим габро горизонт.

Верхня крайова зона (UBZ) простягається від 110 м до поверхні (під осадовим чохлам). Складається вона з двох горизонтів, що значно відрізняються один від одного: горизонт UBZ_2 (інтервал 110—50 м), який є певною мірою "перехідним" між центральною розшарованою зоною і горизонтом UBZ_1 , що залягає вище. Горизонт UBZ_2 складений меланократовим олівіновим габро; горизонт UBZ_1 (інтервал 50 м — поверхня), складений мезократовим олівіновим габро, що за сво-

© Л.В. Шумлянський, 2010

їми характеристиками нагадує породи нижньої зони.

Еволюція хімічного складу порід за розрізом Федорівського інтрузиву. Хімічний склад порід Федорівського родовища детально розглянуто [8], згідно з якою породи нижньої зони (*LZ*) суттєво відрізняються від порід центральної розшарованої зони (*MZ*). Так, вони характеризуються значно більш високою магнезаль-

ністю ($\#Mg = Mg/(Mg + Fe)$, ат. кільк.) — 0,41—0,45 в *LZ* проти 0,33—0,38 в *MZ*. Висока магнезальність корелює з низьким вмістом P_2O_5 (що пов'язано з дуже низькою концентрацією апатиту в породах нижньої зони [3, 8]), підвищеним вмістом Na_2O та K_2O (високий вміст плагіоклазу), а також зменшеним вмістом заліза та MnO . В той же час середній вміст TiO_2 у породах *LZ* є найвищим серед усіх

Таблиця 1. Модальний мінеральний склад порід Федорівського інтрузиву за розрізом св. 581, за даними підрахунків на інтеграційному столику, об. %

Table 1. Modal mineral composition of the rocks of the Fedorivka intrusion in the borehole 581, according to calculation on the integration table, vol. %

Глибина, м	Зона	Плагіоклаз	Олівін	Авгіт	Апатит	Біотит	Рудні мінерали			
							Сума	Ільменіт	Магнетит	Сульфіди
13,0	UBZ ₂	51,4	25,8	9,6	3,4	0,8	9,0	8,3	0,2	0,5
19,0		25,7	24,7	26,7	7,7	0,3	15,0	—	—	—
25,0		37,0	26,7	17,7	3,3	0,01	15,3	—	—	—
30,0		40,8	27,2	12,0	8,6	0,6	10,8	8,0	2,2	0,6
37,0		52,3	17,0	10,0	5,3	0,01	15,3	—	—	—
61,0	UBZ ₁	12,8	40,0	18,8	5,8	0,8	21,0	—	—	—
69,0		19,0	30,0	23,0	8,7	0,4	19,0	3,2	15,2	0,6
73,0		10,0	28,0	33,8	6,8	0,8	20,6	—	—	—
81,0		20,6	32,4	21,8	7,8	0,4	17,0	—	—	—
85,0		12,7	38,7	19,7	13,3	0,7	15,0	—	—	—
97,0	13,3	28,7	28,0	12,3	1,3	16,3	—	—	—	
101,0	11,7	43,7	16,3	12,0	1,0	15,3	—	—	—	
107,0	61,0	20,0	10,0	2,3	0,01	6,7	—	—	—	
113,0	MZ	34,6	24,4	17,0	9,2	0,4	14,4	—	—	—
120,0		29,3	24,3	16,3	11,7	1,0	17,3	—	—	—
137,5		21,0	36,3	18,7	8,0	0,01	16,0	—	—	—
142,0		30,7	32,3	12,0	10,0	0,01	15,0	—	—	—
155,0		19,7	26,7	25,3	10,7	0,7	17,0	—	—	—
160,0		23,9	27,2	22,0	9,6	1,4	16,8	10,9	4,4	1,5
164,0		27,7	28,0	18,3	8,7	0,3	17,0	—	—	—
180,0		19,0	41,7	18,0	7,0	0,3	14,0	—	—	—
194,0		35,0	26,5	16,4	6,9	1,2	14,0	—	—	—
201,5		25,7	34,7	19,3	5,7	0,7	14,0	—	—	—
204,0	28,2	24,8	19,2	8,8	1,8	17,2	11,2	5,7	0,3	
224,0	36,7	21,3	15,0	9,7	3,3	14,0	11,3	2,1	0,6	
228,0	24,8	29,6	16,6	8,2	0,6	20,2	—	—	—	
270,0	LZ	45,0	15,2	27,6	0,2	0,4	11,6	—	—	—
274,0		31,4	21,0	32,6	0,0	0,8	14,2	—	—	—
277,0		33,0	22,4	31,8	0,8	0,2	11,8	—	—	—
281,0		49,2	14,4	27,8	1,0	0,6	7,0	—	—	—
289,0		39,7	21,3	25,3	2,7	0,01	11,0	—	—	—
292,0		30,0	27,0	32,0	2,0	1,0	8,0	—	—	—
293,0		28,3	25,7	25,3	4,7	0,2	16,0	14,3	0,3	1,4
295,0		33,7	20,3	28,3	2,7	0,02	15,0	—	—	—

Таблиця 2. Хімічний склад порід Федорівського інтрузиву за розрізом св. 581, за даними рентгенофлуоресцентного аналізу
 Table 2. Chemical composition of the rocks of the Fedorivka intrusion in the borehole 581, according to XRF analysis

Глиби- на, м	Зона	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^{Зар}	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сума	#Mg	Ba	Ce	Cr	V	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Co	Cu	Ni	Zn
13,0	UBZ ₂	35,48	5,87	9,78	—	4,73	21,15	0,29	6,73	9,75	1,82	0,43	3,38	99,40	35,3	310	101	38	364	5,2	332	55	74	16	53	92	23	171
19,0		30,22	7,34	5,40	31,33	—	—	0,35	8,38	11,57	0,96	0,18	3,57	99,31	35,9	201	50	42	599	4,0	235	50	38	8	54	105	31	166
25,0		34,98	5,11	10,16	28,16	—	—	0,33	6,05	9,09	2,01	0,41	2,77	99,06	31,1	403	97	33	352	7,4	359	43	48	8	48	74	21	216
30,0		34,67	5,80	8,72	—	5,61	23,77	0,34	7,03	9,11	1,58	0,33	2,77	99,72	33,4	308	56	53	299	5,9	353	47	50	9	52	96	23	179
37,0		37,80	4,74	10,99	26,06	—	—	0,30	5,07	10,25	2,30	0,43	2,67	100,62	29,0	398	46	31	189	6,5	417	36	30	7	48	71	13	166
61,0	UBZ ₁	29,78	7,58	5,39	—	7,20	26,44	0,36	8,28	9,77	0,98	0,19	3,42	99,40	34,1	216	53	55	470	5,2	240	47	39	8	56	102	17	193
69,0		32,83	5,22	6,47	—	6,94	26,80	0,39	6,87	9,92	1,10	0,23	2,74	99,52	29,9	135	71	43	322	1,3	216	36	28	4	45	77	20	169
73,0		29,19	6,45	3,66	—	6,48	30,22	0,42	7,58	11,27	0,52	0,13	3,64	99,56	30,2	141	39	37	386	4,5	183	49	27	4	47	87	21	204
81,0		29,66	6,27	4,09	—	6,90	29,60	0,43	7,65	10,47	0,62	0,15	3,37	99,21	30,5	127	57	37	353	4,1	188	43	24	4	49	86	23	205
85,0		28,17	6,65	3,17	38,93	—	—	0,43	8,42	11,20	0,47	0,12	3,53	101,08	31,2	177	87	30	334	2,9	147	49	28	2	48	93	22	202
97,0		29,90	6,69	5,05	—	6,93	25,89	0,36	7,68	11,55	1,07	0,19	4,18	99,49	32,9	226	77	48	139	5,0	218	53	33	6	53	102	18	161
101,0		27,72	6,86	3,03	38,18	—	—	0,41	9,01	11,33	0,63	0,13	4,16	101,45	33,1	185	49	36	145	4,6	151	51	33	6	50	97	21	215
107,0		38,37	4,46	11,56	27,22	—	—	0,32	4,52	9,94	2,35	0,41	2,25	101,39	25,8	299	42	36	189	4,4	428	23	17	3	42	68	13	108
113,0	MZ	32,11	6,38	5,94	—	6,39	23,97	0,33	7,83	11,41	1,03	0,22	3,70	99,32	35,1	170	50	36	240	1,7	226	51	41	7	55	99	14	170
120,0		30,30	6,47	5,99	31,13	—	—	0,35	7,46	11,67	1,25	0,23	3,94	98,80	33,4	280	76	22	265	5,3	266	56	37	8	52	104	19	187
137,5		30,98	7,00	5,59	31,32	—	—	0,34	8,15	11,84	1,04	0,19	3,85	100,29	35,3	254	92	36	498	3,8	242	50	40	8	56	100	22	178
142,0		31,43	6,53	6,70	29,26	—	—	0,32	7,12	11,83	1,43	0,25	3,71	98,59	33,8	315	68	28	553	4,9	280	51	39	9	56	92	17	167
155,0		32,16	6,56	7,17	29,54	—	—	0,32	6,83	11,31	1,28	0,24	3,10	98,51	32,7	283	45	40	317	4,7	302	43	35	8	57	88	30	176
160,0		30,76	7,36	5,80	—	6,06	25,19	0,34	7,93	10,58	0,99	0,20	3,65	98,87	34,7	179	69	37	478	5,3	248	46	41	9	61	98	18	180
164,0		30,33	6,96	5,13	33,31	—	—	0,36	8,39	11,09	0,93	0,17	3,47	100,15	34,6	265	58	26	450	5,0	216	43	32	7	57	86	19	182
180,0		30,79	7,75	4,68	32,24	—	—	0,36	9,24	11,01	0,87	0,15	3,27	100,34	37,5	187	69	53	466	5,4	218	45	38	9	58	109	35	180
194,0		32,45	6,56	6,57	—	6,11	24,21	0,32	8,00	11,02	1,22	0,21	3,52	100,20	35,6	177	45	57	618	4,8	313	49	34	6	58	104	21	164
201,5		28,05	7,67	3,70	37,05	—	—	0,38	9,84	9,97	0,73	0,12	3,24	100,74	35,8	193	73	32	814	2,0	167	42	33	10	58	114	30	209
204,0		31,75	7,20	6,12	—	7,12	23,85	0,32	8,55	10,23	1,13	0,18	3,15	99,60	36,7	144	45	86	822	1,2	197	42	33	7	63	108	26	178
224,0		34,71	5,90	9,35	—	6,00	20,49	0,27	7,41	10,10	1,73	0,26	2,67	98,89	37,0	236	56	39	781	4,7	349	35	28	7	56	99	25	163
228,0		32,52	6,70	7,53	—	6,62	22,32	0,30	7,78	10,48	1,42	0,23	3,34	99,24	36,0	182	82	44	813	1,2	223	43	28	5	60	100	25	166
270,0	LZ	45,12	5,23	14,37	—	2,03	14,05	0,18	6,21	9,25	3,02	0,45	0,07	99,98	44,7	383	10	74	301	4,7	444	9	42	9	58	56	32	79
274,0		38,09	8,58	6,24	—	5,12	21,20	0,32	10,44	8,86	1,18	0,18	0,06	100,27	45,4	161	10	94	485	5,3	201	12	49	12	67	86	57	143
277,0		40,24	6,81	9,30	—	4,31	18,59	0,27	8,71	9,07	1,87	0,27	0,35	99,78	44,4	234	10	61	449	4,6	273	13	39	10	59	73	32	122
281,0		41,66	5,90	11,01	—	3,90	16,38	0,24	7,82	9,57	2,30	0,34	0,69	99,81	44,7	288	10	102	300	4,2	347	14	40	8	56	61	32	108
289,0		38,61	6,60	8,90	22,82	—	—	0,26	7,75	10,58	1,61	0,27	1,49	98,89	41,6	159	10	63	356	1,4	225	23	36	9	63	84	33	125
292,0		36,77	7,36	7,10	26,03	—	—	0,30	9,13	9,36	1,27	0,22	0,92	98,47	42,4	293	12	91	418	4,8	236	19	43	9	60	81	55	138
293,0		37,39	6,68	7,40	—	4,50	20,84	0,29	9,16	10,23	2,20	0,27	1,47	100,43	43,1	192	10	85	555	4,4	277	23	39	7	63	96	34	137
295,0		33,15	7,85	5,52	28,96	—	—	0,31	9,73	10,33	0,95	0,16	1,82	98,79	41,3	191	38	64	655	4,3	203	27	37	9	65	100	41	152

Примітка. Вміст оксидів — у ваг. %, елементів — у г/т. Вміст оксидів заліза вимірювався як загальна кількість у вигляді оксиду Fe₂O₃; в окремих випадках вимірювався також вміст FeO, в такому разі вміст Fe₂O₃ розраховувався як різниця між виміряним вмістом загального Fe₂O₃ та FeO. В. п. п. у всіх випадках були негатиивними за рахунок окиснення FeO до Fe₂O₃ під час прожарювання. Аналізи виконано автором в лабораторії Львівського ун-ту.

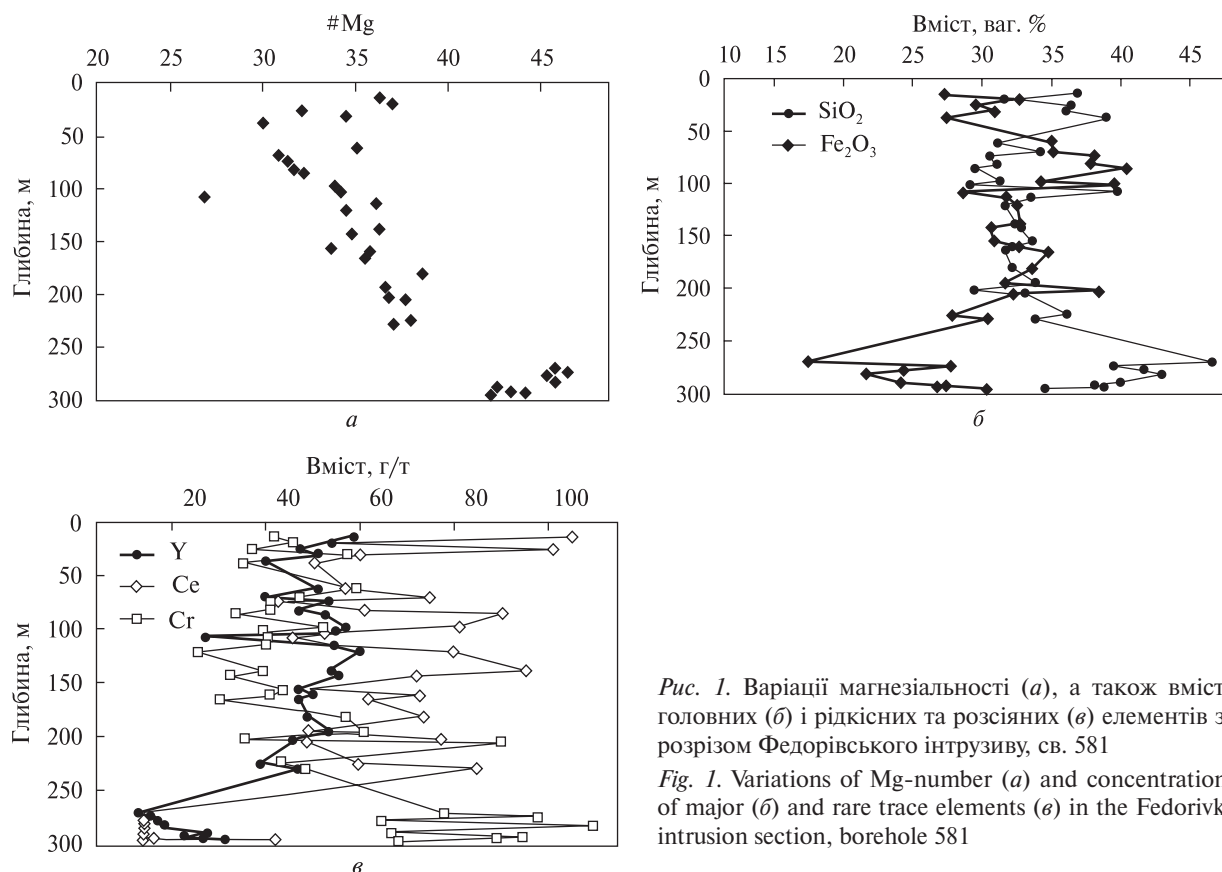


Рис. 1. Варіації магnezіальності (а), а також вмісту головних (б) і рідкісних та розсіяних (в) елементів за розрізом Федорівського інтрузиву, св. 581

Fig. 1. Variations of Mg-number (a) and concentrations of major (b) and rare trace elements (c) in the Fedorivka intrusion section, borehole 581

горизонтів масиву, не зважаючи на відносне зuboжіння порід нижньої зони на рудні мінерали. Це пов'язане, перш за все, з відсутністю титаномagnetиту в цих породах — рудні мінерали представлені практично виключно ільменітом з незначною домішкою сульфідів (табл. 2, 3).

Відмінності у складі порід нижньої та центральної розшарованої зон Федорівського інтрузиву проявляються і на рівні рідкісних та розсіяних елементів. У першу чергу, це стосується елементів, що накопичуються в апатиті (РЗЕ, Y) та титаномagnetиті (Zn, Cu). Оскільки ці два мінерали лише у незначній кількості входять до складу порід LZ, то і вміст цих елементів низький. Натомість породи нижньої зони збагачені на Ni, Co (входять до складу авгіту та сульфідних мінералів), Cr (входить до складу авгіту), Zr, U, Th (входять до складу циркону?), а також на Ga (табл. 2, 3; рис. 1).

Еволюція вмісту головних петрогенних компонентів за розрізом Федорівського інтрузиву виявляє цілком закономірний характер. Найбільш чітко вона проявлена у варіаціях магnezіальності порід (#Mg, рис. 1). Породи нижньої зони є найбільш магnezіальними,

причому магnezіальність дещо зростає зі зменшенням глибини (від 0,41 до 0,45). У межах головної розшарованої зони магnezіальність поступово і закономірно зменшується вгору за розрізом (від ~0,37 до ~0,33). У межах горизонту UBZ₂ верхньої крайової зони продовжується зменшення магnezіальності порід до ~0,30, а з переходом до горизонту UBZ₁ — зростання до 0,36, тобто до рівня, який притаманний нижній частині розрізу центральної розшарованої зони. Загальною тенденцією еволюції хімічного складу порід за розрізом Федорівського розшарованого інтрузиву є зменшення вмісту сумісних компонентів догори центральної розшарованої зони та наступне збільшення за розрізом верхньої крайової зони. Несумісні елементи поводять себе в цілому протилежним чином (табл. 2, 3; рис. 1). До сумісних елементів у даному разі належать ті, валовий коефіцієнт розподілу яких у габроїдному парагенезисі (плагіоклаз + олівін + авгіт + ільменіт + титаномagnetит ± флогопіт) по відношенню до співіснуючого розплаву більший від 1.

Втім загальна картина варіацій складу порід за розрізом масиву є більш складною. Як по-

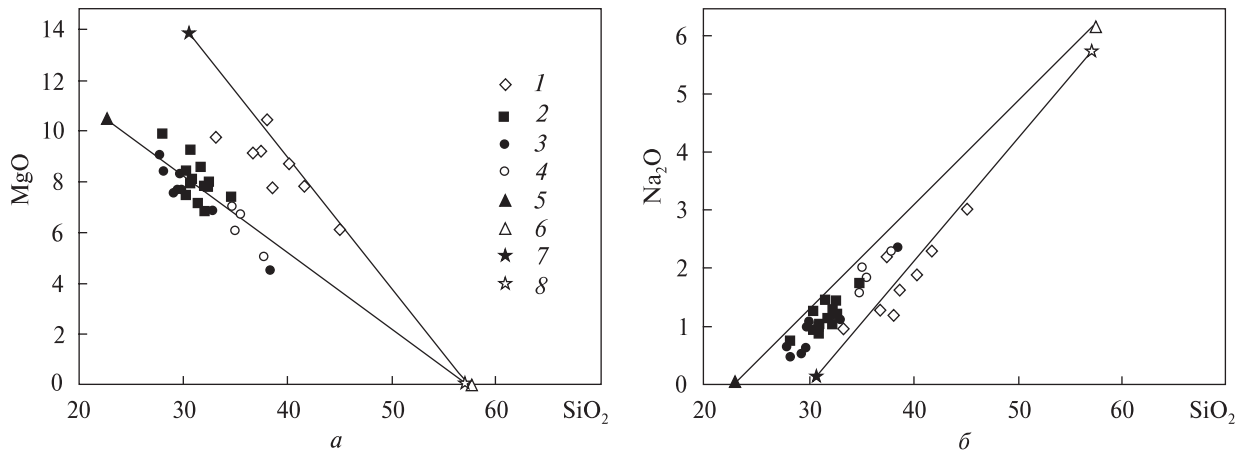


Рис. 2. Відмінність між кумулатами нижньої (1 – LZ), центральної розшарованої (2 – MZ) та верхньої крайової зон (3 – UBZ₁; 4 – UBZ₂) Федорівського інтрузиву. Показано, що склад кожної конкретної породи визначається певним співвідношенням між плагіоклазом та "мафічними полюсами". Полюси: 5 – "мафічний", 6 – "плагіоклазовий", 7 – "мафічний"-2, 8 – "плагіоклазовий"-2

Fig. 2. Differences between cumulates of the lower zone (1 – LZ), central layered zone (2 – MZ) and upper boundary zone (3 – UBZ₁; 4 – UBZ₂) of the Fedorivka intrusion. It is shown that the composition of each particular rock is defined by relationship between plagioclase and "mafic poles". Poles: 5 – "mafic", 6 – "plagioclase", 7 – "mafic"-2, 8 – "plagioclase"-2

Таблиця 3. Вміст мікроелементів у породах Федорівського інтрузиву, за даними ICP-MS, г/т

Table 3. Content of trace elements in the rocks of the Fedorivka intrusion by the results of ICP-MS analyses, ppm

Глибина, м	13,0	69,0	113,0	204,0	228,0	289,0
Зона	UBZ ₂	UBZ ₁	MZ			LZ
Th	1,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5
U	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Ga	9	11	11	9	10	12
Hf	2,0	0,7	1,2	1,0	1,0	1,3
Ta	0,7	0,2	0,4	0,5	0,5	0,7
Ga	9	11	11	9	10	12
Mo	1	12	1	20	1	23
La	33,3	19,1	29,9	20,6	23,4	11,2
Ce	89,1	55,2	84,8	65,5	72,0	30,9
Pr	14,5	8,4	13,0	10,0	10,7	4,8
Nd	63,7	39,7	59,5	44,1	49,0	24,4
Sm	14,3	9,8	14,2	11,9	13,2	6,2
Eu	2,7	2,0	2,9	2,1	2,6	1,7
Gd	11,9	8,0	12,1	9,1	9,7	5,4
Tb	1,7	1,1	1,7	1,2	1,3	0,7
Dy	8,1	5,6	8,7	6,5	7,1	4,1
Ho	1,7	1,0	1,6	1,2	1,3	0,8
Er	3,3	2,2	3,7	2,8	3,0	2,0
Tm	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3
Yb	2,6	1,4	2,6	1,9	2,1	1,5
Lu	0,35	0,2	0,4	0,3	0,3	0,2
Сума	247,7	153,9	235,3	177,5	195,9	94,1

Примітка. Аналізи виконано в лабораторії Львівського ун-ту.

казано в роботі [8], ці варіації значною мірою зумовлені коливаннями співвідношення вмісту плагіоклазу і мінералів, що входять до складу так званого мафічного полюса (*mafic pole*). Це призводить до того, що на варіаційних діаграмах фігуративні точки хімічних аналізів порід Федорівського інтрузиву розташовуються на лінії, яка поєднує "плагіоклазовий" (плагіоклаз складу An₄₂) та "мафічний" полюси (розрахований в роботі [8] склад "мафічного" полюса, ваг. %: олівін — 40,5; авгіт — 20,8; ільменіт — 11,2; титаномагнетит — 15,0; апатит — 12,0, рис. 2). Породи UBZ₁ відносно збагачені на плагіоклаз, габроїди UBZ₂ є найбільш меланократовими, а породи центральної розшарованої зони (MZ) є проміжними за вмістом плагіоклазу. В той же час з цих діаграм чітко видно, що склад порід нижньої зони (LZ) різко відрізняється від складу всіх інших порід Федорівського інтрузиву. Розрахований автором "мафічний" полюс для порід нижньої зони має такий склад, ваг. %: олівін — 49,8; авгіт — 25,6; ільменіт — 24,6.

Отже, варіація вмісту головних петрогенних компонентів за розрізом Федорівського розшарованого інтрузиву визначається, по-перше, прихованою розшарованістю, тобто закономірною зміною хімічного складу мінералів за розрізом, а по-друге, варіаціями значень співвідношення між "мафічним" та "плагіоклазовим" полюсами.

Варіації вмісту рідкісних та розсіяних елементів у породах Федорівського інтрузиву визначаються тими самими факторами, що і варіації головних компонентів: закономірною еволюцією складу розплаву та співвідношенням між плагіоклазом та темноколірними мінералами.

Для деяких елементів спостерігаються дуже значні варіації вмісту за розрізом. Так, ванадій у породах нижньої зони (*LZ*) міститься в помірній кількості (~300–500 г/т). Титаномагнетит присутній у вельми незначній кількості, але є дуже багатим на ванадій [6]. Під час переходу до центральної розшарованої зони (*MZ*) вміст ванадію в породах різко зростає (до 800 г/т), що зумовлене появою помітної кількості титаномагнетиту. В цій частині розрізу титаномагнетит є значно біднішим на ванадій, але концентрація його у породі вища, ніж у нижній зоні. Втім титаномагнетит дуже ефективно екстрагує ванадій з розплаву, що призводить до швидкого зменшення вмісту цього елементу догори розрізу як у породах, так і у титаномагнетиті.

Якщо виключити з розгляду нижню зону, розріз центральної розшарованої та верхньої крайової зон має симетричний характер. Вміст більшості некогерентних елементів, а також деяких оксидів (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O тощо) закономірно зменшується в напрямку від підшови *MZ* та кровлі *UBZ* до контакту між цими двома зонами. В той же час вміст оксидів заліза, кальцію, фосфору закономірно зростає в цьому ж напрямку.

Цікавим є розподіл рідкісноземельних елементів у породах Федорівського родовища. Як

видно з рис. 3, породи нижньої зони (*LZ*) характеризуються найнижчими серед всіх порід Федорівського інтрузиву значеннями концентрації РЗЕ та відсутністю європейської аномалії. Водночас породи розшарованої та верхньої крайової зон характеризуються наявністю чітко проявленої негативної європейської аномалії.

Ізотопний склад порід і мінералів. Автором виконано чотири ізотопні аналізи стронцію та неодиму (табл. 4) у валових пробах порід, а також ізотопний аналіз стронцію в одній пробі плагіоклазів. Крім того, було виконано ізотопні аналізи кисню в монофракціях плагіоклазу та циркону, виділених з однієї з проб (табл. 5).

Як видно з табл. 4, породи Федорівського розшарованого інтрузиву характеризуються близькими слабо від'ємними значеннями ϵNd , перерахованими на вік формування (1760 млн рр.), та значеннями ϵSr_{1760} , що варіюють близько 0, у породах та монофракції плагіоклазу. Ці варіації можуть бути пояснені відносно невисокою точністю визначення вмісту рубідію та стронцію.

Ізотопний склад кисню в цирконі і плагіоклазі цілком відповідає основним магматичним породам [9]. Крім того, ізотопний склад кисню циркону та плагіоклазу з габроїдів Федорівського інтрузиву збігається з ізотопним складом кисню в цих двох мінералах, вилучених з пегматитів в анортозитах Володарськ-Волинського масиву.

У роботі [5] наведено результати вивчення ізотопного складу гафнію в цирконах, вилучених з габроїдів Федорівського інтрузиву, а також інших порід Коростенського плутону.

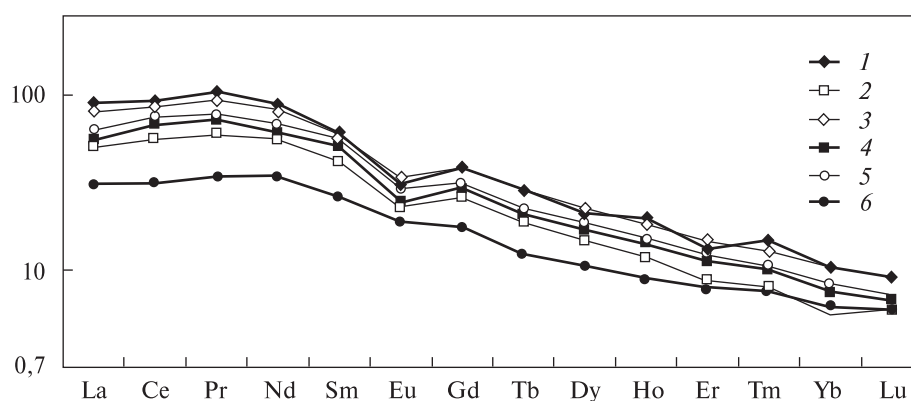


Рис. 3. Діаграма хондрит-нормованого вмісту рідкісноземельних елементів у породах Федорівського інтрузиву. Глибина, м: 1 – 13,0; 2 – 69,0; 3 – 113,0; 4 – 204,0; 5 – 228,0; 6 – 289,0

Fig. 3. Chondrite-normalized concentration of REE in the rocks of the Fedorivka intrusion. Depth, m: 1 – 13.0; 2 – 69.0; 3 – 113.0; 4 – 204.0; 5 – 228.0; 6 – 289.0

Таблиця 4. Ізотопний склад стронцію та неодиму у валових пробах порід та монофракції плагіоклазу Федорівського інтрузиву
 Table 4. Sr and Nd isotopic composition in whole rock samples and plagioclase separates of the Fedorivka intrusion

Номер зразка	Концентрація, г/т				Ізотопні відношення				
	Rb	Sr	Sm	Nd	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{1760}$	ϵSr_{1760}	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(0)}$
581/37	6,5	417,0	11,2	51,6	0,704106±8	0,0451	0,702965	5,8	0,511866±4
581/89	2,9	147,0	5,5	23,6	0,703902±5	0,0571	0,702458	-1,4	0,511985±5
581/89P1	7	791	—	—	0,703828±8	0,0256	0,703080	7,5	—
581/204	7,1	261,8	10,86	48,95	0,703817±10	0,0782	0,701838	-10,2	0,511880±4
581/289	4,4	277,3	5,63	23,34	0,703894±9	0,0458	0,702735	2,5	0,511974±6

Примітка. Аналізи виконано в ізотопній лабораторії Швецького природознавчого музею, м. Стокгольм (ана-

Таблиця 5. Ізотопний склад кисню в цирконах і плагіоклазі, виділених з габро Федорівського інтрузиву (пр. 599/263-268), ‰

Table 5. Oxygen isotope composition in zircon and plagioclase isolated from gabbro of the Fedorivka intrusion (sample 599/263-268), ‰

Мінерал	$\delta^{18}\text{O}$	Мінерал	$\delta^{18}\text{O}$
Циркон	6,50	Плагіоклаз	7,76
Плагіоклаз	6,86	"	6,76

Примітка. Аналізи виконано в лабораторії ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України.

Згідно з цими даними, величина ϵHf в цирконах з порід Федорівського інтрузиву, перерахована на час їхньої кристалізації, становить $-0,8 \pm 1,4$, що дещо нижче, ніж в інших габроїдних масивах Коростенського плутону або в анортозитах Володарськ-Волинського масиву, де ϵHf варіює від $0,1 \pm 0,5$ до $0,4 \pm 0,4$.

Обговорення. Характер та природа вихідного розплаву. Вік формування порід Федорівського інтрузиву був визначений раніше [4] і становить $1763 \pm 3,3$ млн рр. Цей вік у межах похибки збігається з віком, отриманим для анортозитів Володарськ-Волинського масиву та габроїдів Букинського масиву коростенського комплексу [1, 7], і свідчить про практичну однаковість анортозитових масивів та габроїдних тіл, що їх супроводжують. Геологічні спостереження також вказують на те, що габроїдні масиви часто вкорінювались у ще не консолідовані остаточно анортозити.

Ізотопний склад стронцію та неодиму в породах Федорівського інтрузиву цілком збігається з ізотопним складом цих елементів у інших масивах пізньої габроїдної серії G_4 [10]. Так, величина ϵNd_{1760} в інших масивах серії G_4

коливається близько -1 , що цілком збігається із новими отриманими даними щодо Федорівського інтрузиву (табл. 2). Досліджені раніше габроїди серії G_4 характеризувались невисокими величинами ϵSr_{1760} (близько $+11$). Породи та виділені з них плагіоклази Федорівського інтрузиву мають дещо менш радіогенний ізотопний склад стронцію (ϵSr_{1760} варіює від $+7,5$ до $-10,2$, табл. 4). Проте такі низькі величини цього параметра були виявлені останнім часом і в інших масивах серії (стаття готується до публікації).

Ізотопний склад гафнію в цирконах, вилучених з габроїдів Федорівського інтрузиву, також дещо відрізняється від ізотопного складу цього елемента в цирконах з габроїдів інших масивів та з анортозитів. Втім ця відмінність цілком вкладається в межі статистичних варіацій по декількох вимірах з врахуванням аналітичної похибки.

Ізотопний склад кисню в цирконах та плагіоклазах з порід Федорівського інтрузиву збігається з таким у мінералах, вилучених з пегматоїдних тіл серед анортозитів Володарськ-Волинського масиву.

Отже, можна стверджувати, що за ізотопним складом неодиму, стронцію, гафнію та кисню породи Федорівського інтрузиву практично не відрізняються як від габроїдів інших масивів серії G_4 , так і від анортозитів Володарськ-Волинського масиву. Наявні геохронологічні та ізотопно-геохімічні відомості дозволяють припустити спорідненість анортозитів головної фази вкорінення (A_2) та габроїдів пізньої габроїдної серії (G_4). Цілком можливо, що вони є похідними (диференціатами) єдиного вихідного розплаву.

Як вказано раніше, породи нижньої зони (LZ) Федорівського інтрузиву, з одного боку,

інтрузиву

			Модельний вік, млн рр.	
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(1760)}$	ϵNd_{1760}	T_{CHUR}	T_{DM}
0,1307	0,510353	-0,2	1780	2280
0,1428	0,510322	-0,5	1830	2410
—	—	—	—	—
0,1342	0,510327	-0,7	1842	2230
0,1458	0,510286	-1,5	1982	2410

літик К. Білстрьом).

та породи центральної розшарованої і верхньої крайової зон, з іншого, помітно розрізняються за геохімічними характеристиками, а також за набором мінералів (дуже низький вміст апатиту та титаномагнетиту в породах *LZ*). Втім помітних відмінностей за ізотопним складом між породами *LZ* та *MZ + UBZ* не спостерігається. Крім того, не вдається виявити помітної різниці у складі породоутворювальних мінералів, якими складена нижня зона та нижня частина центральної розшарованої зони (див. результати хімічних аналізів мінералів, наведені в [3]). Радше за все всі породи Федорівського інтрузиву кристалізувались з єдиного магматичного розплаву. Однак за певних причин у межах *LZ* відбувалась кристалізація одного мінерального парагенезису, а в межах *MZ* та *UBZ* — іншого. На загал, мінеральний склад порід *LZ* і *MZ + UBZ* можна охарактеризувати наступним чином: $X\% (MF^*) + Y\% (PI) = 100\%$. Одразу відзначимо, що в обох парагенезисах зберігається однакове співвідношення між олівіном та авгітом (олівін/авгіт = 1,94), але співвідношення між силікатною та несилікатною частинами "мафічних полюсів" різко змінюється. Причини такої відмінності у складі мінеральних парагенезисів наразі невідомі. Відсутність титаномагнетиту у складі кумулатів *LZ* може бути пояснена більш відновними умовами її кристалізації. В той же час дуже низький вміст апатиту в породах зони потребує спеціального пояснення. Автор бачить три можливих шляхи пояснення відсутності апатиту: 1 — за

* Склад "мафічного полюса" (*MF*) для порід *MZ + UBZ* [8], ваг. %: 40,5 олівін + 20,8 авгіт + 11,2 ільменіт + 15,0 титаномагнетит + 12,0 апатит; для порід *LZ*: 49,8 олівін + 25,6 авгіт + 24,6 ільменіт.

більш відновних умов кристалізація апатиту є різко пригніченою; 2 — на перших стадіях кристалізації розплаву є недосиченим стосовно апатиту; 3 — у межах нижньої зони відбувалась ефективна екстракція залишкового інтерстиційного розплаву, з якого кристалізувались титаномагнетит та апатит. Втім перше припущення потребує спеціальних доказів того, що за умов низької фугітивності кисню кристалізація апатиту є пригніченою; про наявність таких доказів автору нічого не відомо. Припущення про недосиченість розплаву стосовно апатиту є маловірогідним, оскільки йотунітові розплави, які, як буде показано нижче, є вихідними для порід Федорівського інтрузиву, охоче і у великій кількості кристалізують апатит. Нарешті, третє припущення видається автору найбільш вірогідним, проте в цьому разі слід спеціально пояснити, згідно з яким механізмом відбувалось вилучення інтерстиційного розплаву із неповністю закристалізованого кумулату і чому цей механізм не спрацював на більш високих рівнях розрізу масиву.

Питання про склад вихідного розплаву, з якого кристалізувались породи Федорівського інтрузиву, обговорено у [3, 8]. У [3] склад розплаву визначали виходячи з хімічного складу мінералів, що складають кумулати, та відомостей про коефіцієнти розподілу між мінералами та співіснуючими розплавами. У роботі [8] розглянуто результати експериментального дослідження кристалізації йотунітових розплавів і показано, що кумулати, подібні до кумулатів Федорівського інтрузиву, кристалізуються з розплавів монцонітового складу. Вихідні розплави, отримані авторами робіт [3] та [8], дещо різняться між собою, але також мають одну суттєву спільну рису — вони обидва належать до йотунітової серії. У роботі [3] показано, що розрахований склад вихідного розплаву Федорівського інтрузиву потрапляє в поле складу, характерного для йотунітів Коростенського плутону, представлених дайковими породами (що зазвичай описують під назвами "сублужні долерити" та "плагіопорфіри") та загартованими контактами габроїдних масивів серії G_4 . Йотунітовий склад загартованих контактів габроїдних масивів, близький до розрахованого складу Федорівського інтрузиву, ще раз свідчить про правильність проведених розрахунків. Зазначимо, що дуже близький склад мають і йотуніти анортозитової провінції Роголанд.

Внутрішньокамерна диференціація. Федорівський інтрузив є типовим розшарованим інтрузивом. Йому притаманна наявність як крупних зон, що вирізняються певними особливостями мінерального та хімічного складу, так і більш дрібномасштабної розшарованості в межах зон, коли окремі шари вирізняються за співвідношенням головних породоутворювальних мінералів. Особливості прихованої розшарованості (закономірної зміни хімічного складу мінералів за розрізом інтрузиву), яка також є вельми характерною для Федорівського інтрузиву, розглянуто в попередніх публікаціях [3, 6].

Як показано вище, у межах Федорівського інтрузиву можна вирізнити породи, що формувались за рахунок кристалізації двох різних мінеральних парагенезисів. Завдяки відсутності апатиту породи *LZ* збіднілі на РЗЕ та P_2O_5 . У той же час через більш високе значення співвідношення силікатних мінералів до рудних ці породи збагачені на Cr, Ni, Co, SiO_2 тощо. В межах *MZ* та *UBZ* можна спостерігати симетричний характер розподілу багатьох хімічних елементів, що свідчить про існування двох фронтів кристалізації, що рухались назустріч один одному від підошви та від кровлі масиву. Некогерентні елементи, що накопичувались у залишковому розплаві, мають найвищі значення концентрації в нижній частині *UBZ*. Когерентні елементи, навпаки, накопичувались у біляконтактних ділянках розшарованого масиву, а в напрямку до центру інтрузиву їх вміст зменшується. Ця загальна тенденція поведінки хімічних елементів ускладнюється ритмічними коливаннями співвідношення кількості плагіоклазу до кількості інших мінералів, що входять до складу "мафічного полюса". Горизонти, збагачені на плагіоклаз, відповідно, є збагаченими і на компоненти, когерентні по відношенню до цього мінералу. Для деяких елементів (наприклад,

ванадію) спостерігається більш складна поведінка. Цей елемент характеризується відносно невисокими значеннями концентрації в породах *LZ*. Втім у нижній частині *MZ* з появою у складі порід титаномагнетиту різко зростає і кількість ванадію, який концентрується саме в цьому мінералі. Проте завдяки дуже високому коефіцієнту розподілу титаномагнетит — розплав на користь титаномагнетиту залишковий розплав дуже швидко збіднюється на цей елемент і найбільш диференційовані породи нижньої частини *UBZ* мають дуже низький вміст ванадію.

Висновки. 1. Ізотопно-геохімічні та геохронологічні відомості свідчать, що всі породи Федорівського інтрузиву сформувались, вочевидь, з єдиного вихідного розплаву.

2. Породи нижньої зони інтрузиву формувались за рахунок кристалізації мінерального парагенезису, до якого входять олівін, авгіт, ільменіт та плагіоклаз; породи центральної розшарованої та верхньої крайової зон формувались за рахунок кристалізації олівіну, авгіту, ільменіту, титаномагнетиту, апатиту та плагіоклазу. Втім співвідношення між цими мінералами у нижній зоні, з одного боку, і у центральній розшарованій та верхній крайовій зонах, з іншого, різне.

3. Федорівському інтрузиву притаманна закономірна еволюція хімічного складу гірських порід за розрізом, що пов'язане із закономірною еволюцією складу розплаву під час фракціонування та з еволюцією складу мінералів.

4. Вихідний розплав, з якого кристалізувались породи масиву, мав йотунітовий склад. Подібний склад мали, вочевидь, і розплави, з яких кристалізувались інші габроїдні масиви пізньої габроїдної серії (G_4).

Роботу виконано за підтримки програми науково-технічного співробітництва між урядами України та Польщі.

1. *Верхогляд В.М.* Возрастные этапы магматизма Коростенского плутона // Геохимия и рудообразование. — 1995. — №. 21. — С. 34—46.
2. *Митрохин О.В., Митрохина Т.В.* Петрология и рудоносность Федоровского апатит-ильменитового месторождения // Мінерал. журн. — 2006. — 28, № 4. — С. 43—52.
3. *Шумлянський Л.В.* Варіації хімічного складу силікатних мінералів та апатиту Федорівського апатит-ільменітового родовища, Коростенський плутон // Там же. — 2007. — 29, № 1. — С. 5—22.
4. *Шумлянський Л.В.* Ізотопний U-Pb вік титаноносних габроїдів південної частини Володарськ-Волинського масиву, Коростенський плутон // Наук. пр. ІФД. — 2007. — Вип. 11. — С. 118—128.
5. *Шумлянський Л.* Ізотопний склад гафнію в цирконах з анортозит-рапаківігранітних масивів Українського щита // Вісн. Київ. ун-ту (у друці).
6. *Шумлянський Л.В., Дюшен Ж.-К.* Рудні мінерали Федорівського родовища фосфору та титану // Наук. пр. ІФД. — 2005. — Вип. 9. — С. 65—83.

7. Amelin Yu.V., Heaman L.M., Verchogliad V.M., Skobelev V.M. Geochronological constraints on the emplacement history of an anorthosite-rapakivi granite suite : U-Pb zircon and baddeleyite study of the Korosten complex, Ukraine // *Contribs Mineral. and Petrol.* — 1994. — **116**. — P. 411—419.
8. Duchesne J.C., Shumlyansky L., Charlier B. The Fedorivka layered intrusion (Korosten Pluton, Ukraine) : an example of highly differentiated ferrobasic evolution // *Lithos.* — 2006. — **89**, iss. 3—4. — P. 353 —376.
9. Faure G. Principles of isotope geology. — John Wiley & Sons, 1986. — 589 p.
10. Mitrokhin O.V. The gabbro-anorthosite massifs of the Korosten pluton (Ukraine) and problems of parental magmas evolution // *Abstr. vol. of the GEODE field workshop 8—12th July 2001 on ilmenite deposits in the Rogaland anorthosite province, S. Norway. NGU Rep. #2001.042.*, 86—90.
11. Shumlyansky L., Ellam R.M., Mitrokhin O. The origin of basic rocks of the Korosten AMCG complex, Ukrainian shield : implication of Nd and Sr isotope data // *Lithos.* — 2006. — **90**, iss. 3—4. — P. 214—222.

Ин-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України, Київ

Надійшла 13.05.2010

РЕЗЮМЕ. В статье рассмотрены особенности химического состава пород Федоровского расслоенного интрузива. Показано, что все породы формировались из единого исходного расплава йотунитового состава. По изотопному составу и возрасту Федоровский интрузив в общем подобен другим массивам поздней габброидной серии Коростенского плутона, а также анортозитам главной серии. Нижняя зона интрузива сформировалась во время кристаллизации минерального парагенезиса, в который входили оливин, авгит, ильменит и плагиоклаз. В центральной расслоенной и в верхней краевой зонах вместе с ними встречаются титаномагнетит и апатит. Закономерная эволюция состава пород, наблюдаемая в разрезе интрузива, связана с эволюцией состава расплава, происходившей вследствие фракционирования.

SUMMARY. Fedorivka intrusion is one of numerous gabbroic massifs related to the Korosten anorthosite-mangerite-charnokite granite complex. It cuts through anorthosite of the Volodarsk-Volynsky massif and composed by olivine gabbro that due to variation in mineral and chemical composition can be subdivided into the following zones: a Lower zone (*LZ*) composed by mesocratic olivine gabbro and apatite-poor olivine melanogabbro; Central layered zone (*MZ*) composed by olivine meso- and melagabbro enriched with apatite; Upper boundary zone (*UBZ*) is also composed by olivine meso- and melagabbro. *LZ* rocks differ sufficiently by chemical composition from the rocks of *MZ*. They are characterized by high #Mg = 0.41—0.45 in contrast to rocks of the *MZ* (#Mg = 0.33—0.38). High #Mg correlated with low concentration of P₂O₅, MnO and Fe and high amount of Na₂O, K₂O and TiO₂. Variations of chemical composition in the vertical section of the Fedorivka intrusion are largely caused by variation of proportions of plagioclase (An₄₂) and minerals that constitute the so-called "mafic pole". Composition of the "mafic pole" for the rocks of *MZ* and *UBZ* is (in vol. %) olivine — 40.5, augite — 20.8, ilmenite — 11.2, titanomagnetite — 15.0, and apatite — 12.0. "Mafic pole" of *LZ* is composed by olivine — 49.8, augite — 25.6, and ilmenite — 24.6. Rocks of the Fedorivka intrusion are characterized by slightly negative values of εNd while εSr values vary close to 0 independent of the position of the studied sample in the massif section. These values as well as oxygen isotopic composition in zircon and plagioclase is very close to the values known for anorthosites of the Volodarsk-Volynsky massif. εHf in zircons from the Fedorivka rocks is -0.8 ± 1.4 , that is somewhat lower than in other gabbroic massifs and anorthosites (0.1 ± 0.5 to 0.4 ± 0.4).

According to their U-Pb age 1763 ± 3.3 Ma and isotopic composition the rocks of the Fedorivka intrusion correspond to other gabbroic massifs and anorthosites that suggests their origin from a single source, i.e. single melt. The same suggestion is true for the rocks of *LZ* vs. *MZ* + *UBZ* zones — isotopic compositions evidences for their origin from a single melt. Mineral composition, results of modeling of initial melts compositions and field evidences suggest jotunitic composition of the initial melt of the Korosten gabbroic rocks. Regular evolution of the rock composition in the vertical section of the massif is related to the evolution of the melt due to fractionation.