

УДК 552.11 (477)

А.В. Митрохин, С.В. Богданова, Е.В. Билан

**ПЕТРОЛОГИЯ МАЛИНСКОГО МАССИВА
РАПАКИВИ (КОРОСТЕНСКИЙ ПЛУТОН)**

Приведены новейшие данные по петрологии Малинского массива гранитов рапакиви, расположенного в слабо изученной юго-восточной части Коростенского плутона. На основании изучения условий залегания, структурно-текстурных особенностей и вещественного состава гранитоидов обосновано выделение в пределах массива трех интрузивных фаз: I — амфиболовых и биотит-амфиболовых гранитов, II — биотитовых лейкогранитов, гранит-порфиров и аплитовидных гранитов, III — микроклин-альбитовых гранит-порфиров и микрогранитов. Предполагается значительная эродированность Малинского массива по сравнению с другими гранитоидными интрузиями коростенского комплекса. Сделаны выводы о составе исходных магм, условиях кристаллизации и металлогеническом потенциале гранитоидов Малинского массива.

E-mail: mitr@mail.univ.kiev.ua

Введение. Малинский массив рапакиви (ММР) — это составная часть сложного Коростенского плутона, типичный интрузив субплатформенных гранитоидов анортозит-рапакивигранитной формации Украинского щита (УЩ). Впервые Малинский массив был выделен и описан В.И. Лучицким под названием Радомисльского в его классической работе "Рапакиви Киевской губернии и породы, его сопровождающие" [15]. Позже М.И. Ожегова назвала массив Малинским [14]. Обрывочные данные, касающиеся геологии и петрографии Малинского массива, содержатся в публикациях [12, 18], а также в производственных отчетах [7, 8]. Контактные взаимоотношения гранитоидов массива с базитами коростенского комплекса изучены [1], результаты изотопного датирования малинских рапакиви опубликованы [5, 14]. Недостаточная обнаженность и отрицательные результаты поисковых работ на камерные пегматиты обусловили гораздо меньшую изученность этой части Коростенского плутона. Работы по геологическому доизучению 1 : 200000 малинского листа государственной геологической

карты отложены на неопределенный срок в связи с попаданием его северной части в 30-километровую зону отчуждения Чернобыльской катастрофы.

Целью данной работы было изучение вещественного состава гранитоидов ММР и определение петрогенетических особенностей их формирования. Основу исследований составила коллекция горных пород, собранная в ходе полевых работ, проведенных авторами в центральной части Малинского массива в бассейне рек Ирша и Тростяница. Рентген-флюоресцентный XRF-анализ главных петрографических разновидностей гранитоидов выполнен в лаборатории геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Микрозондовый анализ минералов проведен в лаборатории Лундского университета (Швеция), анализ ICP-MS — в лаборатории ACME (Ванкувер, Канада).

Геология Малинского массива рапакиви. ММР расположен в юго-восточной части Коростенского плутона (рис. 1). В действующей корреляционной хроностратиграфической схеме докембрия УЩ породы массива относятся к коростенскому комплексу (PR_1ks) палеопротерозойского возраста. U-Pb изотопный возраст цирконов из гранитов ММР, оп-

ределенный [5], является самым древним среди рапакиви Восточно-Европейской платформы [16]. Гранитоиды ММР обнажены в долинах рек Ирша, Тростяница, Здрипля, Возня и Рихта, а также вскрыты карьерами в районе г. Малин и сел Гранитное, Мирное, Старая Буда, Сычевка, Гута-Потиевка, Губенково, Вихли. В плане массив имеет несколько удлиненную в меридиональном направлении форму и размеры 30 × 40 км. Согласно данным расчетов гравитационного поля в районе малинского минимума силы тяжести, гранитоиды массива распространяются на глубину 8 км [7]. В отличие от Червоноармейского и Народичского массивов рапакиви, расположенных в западной и северной частях Коростенского плутона, ММР наиболее четко обособлен в пространстве, что позволяет рассматривать его в качестве самостоятельной магматической камеры. В западной, северной и восточной частях ММР граничит с Володарск-Волынским, Чеповичским и Федоровским габбро-анортозитовыми массивами коростенского комплекса. Предполагается, что в области западного контакта гранитоиды ММР достаточно круто налегают на габброиды [8], а в юго-восточной части, наоборот, ожидается падение гранитоидов под базиты [7].

Непосредственный интрузивный контакт гранитоидов ММР с габбро-анортозитами второй фазы внедрения (A_2) Федоровского массива наблюдается в карьере № 6-1 [1]. Контакт резкий, прямолинейный, с азимутом простирания плоскости контакта СВ 35°. Падение крутое под углом 70–80° к СЗ в сторону гранитов. Темные зеленовато-серые биотит-амфиболовые рапакиви с овоидами калишпата, размер которых — 1–1,5 см, разрабатываемые данным карьером, в 20 м от контакта с габбро-анортозитами приобретают розовато-зеленый оттенок. Далее, по мере приближения к контакту, рапакиви постепенно сменяются зеленовато-бурыми до красновато-бурых рапакивиподобными гранитами. Они представлены несколькими нечетко обособленными структурными разностями, различающимися содержанием овоидов и размерностью зерен в основной массе. Местами рапакивиподобные граниты эндоконтактной фации имеют облик гранит-порфиров за счет резкого обособления мелких (0,5–1 см) овоидов в мелкозернистой основной массе породы. В сторону контакта с габбро-анортозитами в гранитах

наблюдается уменьшение количества овоидов и зернистости основной массы. В рапакивиподобных гранитах присутствуют мелкие (5–20 см) ксенолиты габбро-анортозитов угловатой формы. В зоне контакта с гранитами (0,5 м) габбро-анортозиты осветлены и катаклазированы. Осветление габбро-анортозитов связано с пренитизацией плагиоклаза и амфибололизацией пироксена. По зонкам катаклаза, ориентированным параллельно контакту, в них развиваются прожилки микропегматоидного гранитного материала. Более молодой возраст гранитов, обрамляющих Федоровский массив, по отношению к анортозитовым породам подтверждается данными изотопной геохронологии. Так, возраст рапакиви из гранитного карьера № 3 возле г. Малин, по данным [5], составляет 1767 ± 5 млн лет, а возраст анортозита из карьера № 6-1 у с. Гранитное — 1784 ± 3 млн лет.

Характер взаимоотношений гранитов рапакиви ММР с субщелочными габброидами тре-

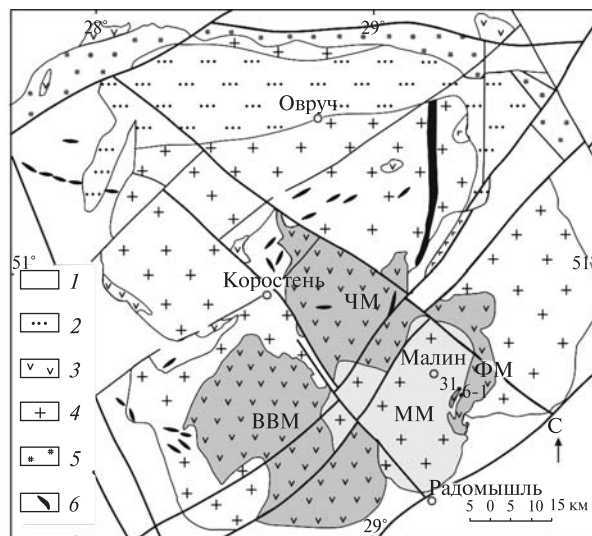


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Коростенского плутона: 1 — гнейсы, кристаллосланцы тетеревской серии (Pr_{1tt}) и гранитоиды житомирского комплекса (Pr_{1zt}); 2 — вулканогенно-терригенные отложения топилянської (Pr_{1tp}) и овручской серии (Pr_{1-2ov}); интрузивные образования коростенского комплекса (Pr_{1ks}); 3 — габбро-анортозитовые массивы (ВВМ — Володарск-Волынский, ЧМ — Чеповичский, ФМ — Федоровский); 4 — рапакиви и рапакивиподобные граниты (ММ — Малинский массив); 5 — метасоматические образования пержанского комплекса (Pr_{1pz}); 6 — габбро-долериты, трахидолериты, трахидиабазовые порфириты дайкового комплекса. Цифрами 6-1 и 31 обозначены номера карьеров, упоминаемых в тексте

твей фазы (G_3) внедрения Федоровского массива более сложный. Извилистые взаимопроницающие контакты с жилоподобными обособлениями оливин-пироксен-амфиболовых гранитов и граносиенитов в габбро-монцонитах и монцодиоритах, наличие в гранитах подушчатых и грибовидных базитовых включений и вместе с тем отсутствие в гранитах приконтактных зон "закалки" при обычном их наличии со стороны габбро-монцонитов, а также присутствие в последних овоидов калишпата предполагают близкую или одновременную кристаллизацию и частичное смешение высокотемпературного базитового и более низкотемпературного гранитного расплава [1].

В карьере № 31 у с. Гранитное субщелочные габброиды прорываются многочисленными жильными телами, сложенными амфибол-биотитовыми рапакивиподобными гранит-порфирами, биотитовыми гранит-порфирами и аплитовидными гранитами, а также микроклин-альбитовыми гранит-порфирами с топазом и литиевыми слюдами. Для жильных тел амфибол-биотитовых гранит-порфиров характерна наименее правильная форма с резкими пережимами, раздувами, нечеткими расплывчатыми границами, связанными с явлениями магматического смешения и гибрийдизма. По всей видимости, они представляют жильную фацию темных зеленовато-серых мелко-среднеовоидных биотит-амфиболовых рапакиви, разрабатываемых в северо-восточной, восточной и южной частях карьера. Жилы аплитовидных гранитов, а также биотитовых и микроклин-альбитовых гранит-порфиров, очевидно, более поздние, по сравнению с амфибол-биотитовыми гранит-порфирами, о чем свидетельствует их более правильная дайкоподобная форма, резкие линейные границы с зонками "закалки", приуроченность к трещинам отдельности в габброидах. Непосредственные контакты биотитовых и микроклин-альбитовых гранит-порфиров с рапакиви не установлены. Однако их разветвленные жилы концентрируются в пределах субмеридиональной тектонической зоны, пересекающей базиты в северо-западной и центральной частях карьера и прослеживаемой далее на юг в гранитах рапакиви, что предполагает более молодой возраст жил.

На юге гранитоиды ММР прорывают метаморфические породы тетеревской серии

(PR_{1tt}). По данным расчетов аномалии силы тяжести, подтверждаемых бурением [7], гранитоиды налегают на породы кочеровской свиты ($PR_{1k\check{c}}$). К северу от линии контакта породы "рамы" залегают под гранитами субгоризонтально на глубине ~1 км. Многочисленные ксенолиты гнейсов и кристаллосланцев тетеревской серии установлены авторами в карьере № 3 у г. Малин, а также в карьерах № 6-2 и 31 у с. Гранитное. Ксенолиты вмещающих пород подвержены контактовому метаморфизму в условиях амфибол- и пироксен-роговиковой фаций.

Петрография гранитоидов Малинского массива рапакиви. Изучение условий залегания, структурных особенностей и минерального состава позволяет выделить несколько петрографических типов гранитоидов ММР, характеристика которых приведена ниже. Сделана попытка провести относительную возрастную корреляцию петрографических типов с тремя фазами гранитоидного магматизма, определенными [11] для северной и южной частей Коростенского плутона за пределами ММР.

Амфиболовые и биотит-амфиболовые рапакиви и рапакивиподобные граниты, наиболее распространенные в составе ММР, коррелируются с главной (I) интрузивной фазой гранитоидного магматизма коростенского комплекса, выделяемой [18] и, позднее, [11]. Частично следуя схеме упомянутых авторов, среди гранитоидов главной фазы ММР мы различаем краевую и жильную фацию биотит-амфиболовых рапакивиподобных гранит-порфиров (Ia), а также плутоническую фацию рапакиви и рапакивиподобных гранитов (Ib), слагающую основной объем массива. Представители прикровлевой фации, широко распространенные в пределах Волынского пегматитового поля юго-западной части Коростенского плутона, в пределах ММР полностью срезаны эрозией. Типичные крупноовоидные рапакиви выборгитового типа с многочисленными овальными мегакристами щелочного полевого шпата (от 3—4 до 9—12 см), отороченными плагиоклазовыми оболочками, обнажены по р. Тростяница возле сел Тростяница и Луки, а также вскрыты небольшими карьерами в районе сел Старая Буда и Мирное. В многочисленных естественных обнажениях, каменоломнях и карьерах по р. Ирша и ее притокам, начиная от г. Малин до с. Гамарня и выше — в районе Гуты-Логановской, более рас-

Таблица 1. Минеральный состав гранитоидов Малинского массива

Фаза	I							II			III
	Образец	51-1	51-34	95004	67-43	67-52	102-2	95005	146-2	51-50-23	51-10-13
ЩПШ	55,0	62,4	48,0	55,1	60,0	51,0	41,8	50,1	51,5	53,8	23,7
Кварц	15,9	15,9	21,0	24,5	24,1	28,5	26,6	36,0	32,0	24,0	23,5
Плагиоклаз	20,1	11,1	18,0	11,2	10,4	12,2	24,0	7,4	13,5	17,9	49,3
Амфибол	2,0	5,5	7,0	7,7	2,6	4,8	3,3	—	—	—	—
Слюда	—	0,5	3,5	0,8	0,5	2,0	3,1	6,1	2,7	4,1	3,2
Rx + OI*	5,7	4,6	0,5	—	2,4	Ед. зерна	—	—	—	—	—
Остаток	1,3	Не опр.	2	0,8	Не опр.	1,6	1,2	0,4	0,3	0,2	0,3
S, мм ²	251,0	320,4	—	363,2	450,3	246,9	219,1	241,5	336,0	66,4	158,0

Примечание. 51-1 — граносиенит рапаквивоподобный амфибол-фаялит-пироксеновый, карьер № 31 с. Гранитное; 51-34 — граносиенит среднеовоидный фаялит-пироксен-амфиболовый, там же; 95004 — гранит рапакиви крупноовоидный биотит-амфиболовый, карьер с. Мирное; 67-43 — гранит рапаквивоподобный амфиболовый, карьер № 6 с. Гранитное; 67-52 — гранит рапакиви среднеовоидный фаялит-пироксен-амфиболовый, там же; 102-2 — гранит рапаквивоподобный биотит-амфиболовый, карьер с. Нераж; 95005 — гранит рапаквивоподобный биотит-амфиболовый, карьер с. Гута-Потиевка; 146-2 — гранит рапаквивоподобный биотитовый "рихтинский", обнажение на р. Тростяница; 51-50-23 — гранит-порфир биотитовый, карьер № 31 с. Гранитное; 51-10-13 — гранит аплитовидный биотитовый, там же; 51-10-12 — гранит-порфир микроклин-альбитовый с топазом и литиевой слюдой, там же. Минеральный состав определен на интеграционном столике Андина. Символы минералов (в таблицах и по тексту): Ab — альбит, Amf — амфибол, An — анортит, Bi — биотит, Crx — клинопироксен, En — энстатит, Fa — фаялит, Fo — форстерит, Fs — ферросилил, Il — ильменит, Ksp — калишпат, Mi — слюда, OI — оливин, Or — ортоклаз, Pl — плагиоклаз, Px — пироксен, Wo — волластонит

пространены мелко-среднеовоидные рапакиви и рапаквивоподобные граниты. Они же обнажаются на р. Тростяница между селами Буки и Гута-Потиевка и вскрыты карьерами в районе сел Губенково и Нераж. Окраска в зависимости от степени постмагматических и гипергенных изменений меняется от темной зеленовато- до светло-серой, розоватой, желтовато-бурой и красной. В собственно рапакиви хорошо выражена овоидная структура. Многочисленные овоиды щелочного полевого шпата размером 1—2 см окружены цепочками идиоморфных зерен кварца, плагиоклазовая оболочка присутствует не всегда, вместе с тем достаточно часто наблюдаются плагиоклазовые ядра. В рапаквивоподобных гранитах маргинационноовоидные структуры проявлены недостаточно отчетливо. Содержание овоидов в них невелико, они хуже обособлены в основной массе породы и лишь некоторые имеют маргинационные плагиоклазовые оболочки, часто недоразвитые. С рапакиви их роднят особенности микроструктуры и вещественного состава. Для рапакиви и рапаквивоподобных гранитов ММР характерно присутствие нескольких генераций полевых шпатов и кварца. Микропертитовый щелочной полевой шпат (ЩПШ) резко преобладает — слагает основную массу, обособляется в виде идио-

морфных вкрапленников, овоидных мегакристов или крупнокристаллических сростков овоидной формы. Решетчатый микроклин развит спорадически в основной массе и в виде неправильных пятен в овоидах. Плагиоклаз олигоклазового состава слагает оболочки овоидов, образует корродированные ядра в овоидах, а также встречается в основной массе. Кварц представлен гексагонально-дипирамидальными кристаллами и округлыми зернами, выделениями "наружу-вогнутого" кварца в ядрах овоидов, пойкило-пегматоидными вростками в периферийной части овоидов и в полевых шпатах основной массы. Мафические минералы образуют микроскопические включения в овоидах или скопления в основной массе. Наиболее характерна зеленовато-бурая роговая обманка и темный красно-коричневый биотит. В аксессуарных количествах встречаются фаялит, клинопироксен, ильменит, апатит, флюорит и циркон. Обычными вторичными минералами являются актинолит, грюнерит и иддингсит. Количественный минеральный состав гранитоидов ММР приведен в табл. 1.

Фаялит-пироксеновые и фаялит-пироксен-амфиболовые рапаквивоподобные граниты и граносиениты изучены на восточном и западном флангах ММР в карьерах около населенных

пунктов Гранитное, Малин и Буки. Пространственно они тяготеют к контактам с габбро-анортозитовыми массивами, где тесно ассоциируют с габбро, габбро-монцонитами и монцонитами. Их возникновение связывается с явлениями гибридизма — магматического смешения гранитоидного и базитового расплавов [1]. Эти темные зеленовато-серые грубозернистые рапакивиподобные гранитоиды во многих отношениях подобны тирилитам и лапее-гранитам Фенноскандии. Микроструктура меняется от нечеткой мелкоовоидной и порфирированной до равномерно-гипидиоморфнозернистой. Кроме вкрапленников ЩПШ могут присутствовать вкрапленники плагиоклаза с калишпатовыми оболочками. По сравнению с биотит-амфиболовыми гранитами, фаялит-пироксен-амфиболовые гранитоиды отличаются несколько большей основностью, а также преимущественно "безводным" составом мафических минералов. В них за счет возрастания содержания плагиоклаза и мафических минералов снижается содержание кварца, а биотит и роговая обманка уступают место фаялиту и клинопироксену феррогенденбергитового состава (табл. 1).

Биотитовые рапакивиподобные лейкограниты, известные под названием "рихтинских", обнажаются по р. Тростяница, ниже устья р. Рихта. В работах [14, 18] предполагалось существование фациальных переходов от рихтинских гранитов к биотит-амфиболовым рапакивиподобным гранитам. Однако, учитывая полифазный характер становления хорошо изученных массивов рапакиви Фенноскандии и обычную для них последовательность внедрения, представляется более вероятным, что биотитовые лейкограниты слагают самостоятельную интрузивную фазу, более позднюю по отношению к амфиболовым и биотит-амфиболовым гранитам ММР. Очевидно, рихтинские граниты представляют плутоническую фазию малых интрузий биотитовых гранит-порфиров, выделяемых [11] в составе второй (II) интрузивной фазы гранитоидов коростенского комплекса. По аналогии с главной фазой, далее интрузия биотитовых лейкогранитов рихтинского типа обозначена индексом II β . В целом рихтинские граниты подобны питерлитам Финляндии. Это розоватые грубозернистые лейкограниты с немногочисленными овоидными мегакристаллами ЩПШ (до 2—2,5 см), лишенными плагиоклазовых оболочек

и плохо обособленными в крупнозернистой кварц-полевошпатовой основной массе. ЩПШ в овоидах и основной массе представлен микроклин-пертитом. Микроклиновое строение проявлено неотчетливо вследствие грубого пертитового строения. Пертиты — широкие, лентовидные, ветвящиеся — сложены сдвойникованным альбитом. Овоиды микроклин-пертита содержат пойкилитовые включения биотита и плагиоклаза, а также пойкило-пегматоидные вроски кварца. Темно-серые дипирамидальные кристаллы кварца размером 3—6 мм также формируют цепочные скопления вдоль границ полевых шпатов, создавая подобие питерлитовой структуры. Плагиоклаз олигоклазового состава образует мелкие идиоморфные включения в мегакристаллах ЩПШ, а также более крупные неправильные зерна в основной массе. Зональное строение с узкой раскисленной каймой подчеркивается угасанием, а также распределением вторичного серицита. Густо плеохроирующий в темно-коричневых тонах биотит образует неправильные пластинчатые зерна и скопления, местами замещаемые хлоритом. Обычны широкие плеохроичные оболочки вокруг включений акцессориев, среди которых наиболее часты флюорит и циркон.

Биотитовые гранит-порфиры и аплитовидные граниты, очевидно, представляют гипабиссальную и жильную фации рихтинских гранитов. Многочисленные коренные выходы биотитовых гранит-порфиров распространены вдоль побережья и на островах Малинского водохранилища выше с. Гамарня. Вероятно, они слагают малые штоковидные интрузии в поле развития гранитов рапакиви, выражающиеся в рельефе в виде небольших возвышений. В карьере № 31 возле с. Гранитное габброиды Федоровского массива прорваны жилами биотитовых гранит-порфиров, подобных гранит-порфирам II интрузивной фазы, выделяемой [11] на примере юго-западной части Коростенского плутона. Далее малые интрузии биотитовых гранит-порфиров ММР обозначены индексом II α . Наиболее типичные разновидности гранит-порфиров окрашены в светлые розоватые, желтоватые до бурых тона с характерной мелкопятнистой текстурой, которую придают им темные скопления биотита. Порфиновые вкрапленники ЩПШ и кварца неоднородно насыщают мелкозернистую основную массу. Вкрапленники ЩПШ разме-

Таблица 2. Результаты микрозондового анализа пертитовых щелочных полевых шпатов в гранитоидах ММР

Фаза	I								II			
	51-1		67-43		67-52				146-2		51-50-23	
Образец	Ksp ₁₂	Pl ₁₄ пертит	Ksp ₁	Pl ₂ пертит	Ksp ₇	Pl ₈ пертит	Ksp ₂₁	Pl ₂₂ пертит	Ksp ₁	Pl ₂ пертит	Ksp ₈	Pl ₁₃ пертит
<i>Вес. %</i>												
SiO ₂	65,66	70,18	64,85	69,56	65,95	69,52	66,94	59,92	63,73	69	64,63	69,80
TiO ₂	0,16	—	0,04	0,01	0,03	0,01	0,05	0,03	0,08	0,01	0,03	—
Al ₂ O ₃	18,15	19,49	18,05	19,41	18,37	20,47	18,58	21,03	17,55	20,6	17,72	19,32
FeO	0,24	0,13	0,06	0,4	0,14	0,31	0,16	8,26	0,08	0,19	0,09	0,38
MnO	—	0,04	—	—	—	—	—	0,08	—	—	—	0,06
CaO	—	0,44	0,21	0,48	0,19	1,29	0,24	3,60	—	1,58	—	0,22
Na ₂ O	1,01	9,04	2,22	8,24	2,69	8,90	4,09	6,79	—	8,73	0,31	9,81
K ₂ O	16,28	0,09	13,15	1,38	12,16	0,09	10,08	0,44	17,37	0,22	16,58	0,13
<i>Формульные коэффициенты на 8 атомов кислорода</i>												
K	0,948	0,005	0,778	0,077	0,709	0,005	0,579	0,026	1,044	0,012	0,986	0,007
Na	0,089	0,761	0,2	0,698	0,238	0,744	0,357	0,603	—	0,732	0,028	0,827
Ca	—	0,021	0,001	0,023	0,009	0,060	0,012	0,177	—	0,073	—	0,010
Al	0,977	0,997	0,987	0,999	0,989	1,040	0,987	1,135	0,975	1,051	0,974	0,990
Si	2,998	3,047	3,008	3,038	3,013	2,997	3,016	2,743	3,003	2,986	3,013	3,036
Ti	0,006	—	0,001	0	0,001	0,000	0,002	0,001	0,003	0,000	0,001	—
Fe	0,009	0,005	0,002	0,015	0,005	0,011	0,006	0,316	0,003	0,007	0,004	0,014
Mn	—	0,002	—	—	—	—	—	0,003	—	—	—	0,002
<i>Миналы, мол. %</i>												
Or	91,4	0,6	78,7	9,6	74,1	0,6	61,1	3,2	100,0	1,5	97,2	0,9
Ab	8,6	96,8	20,2	87,6	24,9	92	37,7	74,9	—	89,5	2,8	97,9
An	—	2,6	1,1	2,8	1	7,4	1,2	21,9	—	9	—	1,2

ром 1—2 см обычно имеют призматическую форму с несколько закругленными гранями, настоящие овоиды редки. Некоторые вкрапленники оторочены узкой плагиоклазовой каймой. Вкрапленники кварца (3—7 мм) могут быть идиоморфными гексагонально-дипирамидальными, закругленными и сферическими. Аллотриоморфнозернистая основная масса сложена ЩПШ, кварцем, плагиоклазом и биотитом. В аксессуарных количествах присутствуют флюорит и циркон. В отдельных случаях намечается постепенный переход биотитовых гранит-порфиров в аплитовидные граниты, полностью лишенные порфировых вкрапленников. Многочисленные дайки и жилы таких аплитовидных гранитов прорывают базиты Федоровского и Чеповичского габбро-анортозитовых массивов вблизи контакта с ММР, изредка встречаются среди его биотит-амфиболовых и амфиболовых гранитов. Это светлые розоватые до буроватых мелкозернистые биотитовые граниты с несколько повышенным содержанием кварца и характерным резким преобладанием микроклин-пертита над олигоклазом. Маломощные жилы

обычно характеризуются однородной равнозернистой структурой, близкой к гранулит-аплитовой, с характерным идиоморфизмом кварца по отношению к полевым шпатам. В отличие от типичных аплитов, их состав полностью аналогичен плутоническим эквивалентам как по степени лейкократовости, так и по относительному содержанию главных породообразующих минералов. Более крупные тела аплитовидных гранитов характеризуются, как правило, неоднородным пятнисто-полосчатым строением с разнообразными микроструктурами. Наряду с аплитовой широко развиты пойкило-пегматоидные и гранофировые микроструктуры, вплоть до появления пегматоидных участков с типичной графической структурой. Количественный минеральный состав аплитовидных гранитов в целом подобен составу биотитовых гранит-порфиров.

Микроклин-альбитовые гранит-порфиры с топазом и литиевой слюдой обнаружены О.В. Зинченко в карьере № 31 у с. Гранитное. Краткая геолого-петрографическая характеристика этих необычных пород приведена в работе [10]. Они залегают в виде небольших

Таблица 3. Результаты микрозондового анализа безпертитовых калинатровых полевых шпатов в гранитоидах ММР

Фаза	I							II	III	
Образец	51-1		67-52					51-50-23	51-10-9	
Анализ	Ksp ₁	Ksp ₆	Ksp ₃	Ksp ₁₀	Ksp ₁₁	Ksp ₁₂	Ksp ₂₃	Ksp ₆	Ksp ₁	Ksp ₂
<i>Вес. %</i>										
SiO ₂	64,24	65,22	65,02	66,85	65,35	66,09	65,80	64,52	63,98	64,00
TiO ₂	0,17	0,19	0,08	0,05	0,09	0,05	0,03	—	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	17,69	18,17	18,06	18,67	18,19	18,45	18,40	17,81	17,47	17,53
FeO	0,12	0,41	0,12	0,19	0,08	0,05	0,13	0,13	—	0,13
MnO	0,01	—	—	0,06	—	—	—	—	—	0,03
CaO	0,04	0,15	0,17	0,42	0,09	0,15	0,41	—	—	—
Na ₂ O	1,43	2,09	2,22	5,51	2,07	3,22	4,36	2,10	0,08	0,15
K ₂ O	15,12	13,73	13,04	7,15	13,90	11,80	9,60	14,28	17,30	17,25
<i>Формульные коэффициенты на 8 атомов кислорода</i>										
K	0,901	0,805	0,770	0,412	0,815	0,685	0,560	0,848	1,039	1,034
Na	0,130	0,186	0,199	0,482	0,185	0,284	0,386	0,190	0,007	0,014
Ca	0,002	0,007	0,008	0,020	0,004	0,007	0,020	—	—	—
Al	0,974	0,984	0,985	0,993	0,986	0,990	0,991	0,978	0,969	0,970
Si	3,002	2,996	3,010	3,016	3,004	3,009	3,007	3,005	3,011	3,006
Ti	0,006	0,007	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	—	0,001	0,001
Fe	0,005	0,016	0,005	0,007	0,003	0,002	0,005	0,005	—	0,005
Mn	0,000	—	—	0,002	—	—	—	—	—	0,001
<i>Миналы, мол. %</i>										
Or	87,3	80,6	78,7	45,1	81,2	70,2	57,9	81,7	99,3	98,7
Ab	12,5	18,7	20,4	52,7	18,4	29,1	40	18,3	0,7	1,3
An	0,2	0,7	0,9	2,2	0,4	0,7	2,1	—	—	—

разветвленных жил в габброидах Визненской глыбы, концентрируясь в пределах субмеридиональной тектонической зоны, пересекающей габброиды и прослеженной далее в биотит-амфиболовых рапакивиподобных гранитах. В этой же тектонической зоне залегают многочисленные жилы биотитовых гранит-порфиров и аплитовидных гранитов. Контакты их с микроклин-альбитовыми гранитами не установлены. По аналогии с юго-западной частью Коростенского плутона можно предположить, что микроклин-альбитовые гранит-порфиры слагают самую позднюю, III фазу ММР. Образцы микроклин-альбитовых гранит-порфиров ММР, любезно предоставленные О.В. Зинченко, — это неоднородные розовато-серые, розовые до кирпично-красных породы с неотчетливой микропорфировой структурой. Мелкие вкрапленники ЩПШ размером 1—3 мм плохо обособлены в мелкозернистой основной массе. Текстура меняется от плотной до трещиноватой с полостями отслоения, выполненными кальцитом, кварцем и флюоритом. Микроструктура неравномернозернистая полифировая с бласто-аплитовой

основной массой. Фенокристы микроклинпертита и кварца могут слагать более половины объема породы и, соприкасаясь друг с другом, формировать подобие невадитовой структуры. Обычны катаклаз и структуры перекристаллизации. Вкрапленники микроклина в той или иной мере пелитизированы, имеют микропертитовое строение и решетчатое двойникование разной степени совершенства. Местами микроклин замещается прозрачным альбитом. Характерны микроскопические пойкилитовые включения кварца, иногда — альбита, особенно во внешней зоне вкрапленников. Фенокристы кварца (0,5—2 мм) имеют дипирамидальный габитус, местами нарушенный дроблением и перекристаллизацией. Угасание меняется от нормального до волнистого и блочного. Во внешней зоне фенокристов кварца часто присутствуют многочисленные микроскопические включения лейстовидного альбита, очерчивающие идиоморфное внутреннее ядро. Подчиненное значение имеют вкрапленники альбита и топаза. Литиевая слюда образует неправильные скелетные зерна с пойкилитовой структурой и характерной

Таблица 4. Результаты микрозондового анализа плагиоклазов в гранитоидах ММР

Фаза	I						II				III		
Образец	51-1		51-34		67-43		67-52		146-2		51-50-23	51-10-9	
Анализ	Pl ₁₀ ядро	Pl ₁₁ край	Pl ₂	Pl ₈	Pl ₅ ядро	Pl ₃ край	Pl ₂ ядро	Pl ₁ край	Pl ₅	Pl ₈	Pl ₁₂	Pl ₄	Pl ₆
<i>Вес. %</i>													
SiO ₂	64,02	64,41	64,81	64,88	66,23	73,76	62,21	65,12	66,67	67,70	69,07	70,31	69,32
TiO ₂	—	0,04	—	0,05	—	0,02	0,05	—	0,03	0,08	0,07	—	0,05
Al ₂ O ₃	22,62	20,58	22,26	23,14	22,61	17,79	23,25	22,75	21,38	20,92	20,46	19,84	19,12
FeO	0,29	4,34	0,22	0,20	0,27	0,12	2,26	0,21	0,12	—	0,14	0,11	0,10
MnO	—	0,01	—	0,04	—	—	—	—	—	—	—	0,05	—
CaO	4,76	1,65	4,28	4,96	3,99	0,74	5,15	4,39	2,25	2,28	1,10	0,33	0,10
Na ₂ O	7,50	7,35	7,61	7,22	7,58	8,05	6,94	7,78	8,02	8,47	9,30	9,21	9,93
K ₂ O	0,35	0,07	0,44	0,29	0,5	0,1	0,33	0,34	0,23	0,12	0,28	0,09	0,11
<i>Формульные коэффициенты на 8 атомов кислорода</i>													
Na	0,643	0,641	0,651	0,611	0,637	0,665	0,598	0,659	0,685	0,717	0,780	0,772	0,844
Ca	0,226	0,080	0,202	0,232	0,185	0,034	0,245	0,206	0,106	0,107	0,051	0,015	0,005
K	0,020	0,004	0,025	0,016	0,028	0,005	0,019	0,019	0,013	0,007	0,016	0,005	0,006
Al	1,179	1,091	1,157	1,189	1,155	0,893	1,218	1,172	1,110	1,077	1,043	1,010	0,988
Si	2,832	2,897	2,858	2,829	2,870	3,143	2,766	2,845	2,937	2,956	2,988	3,038	3,040
Ti	—	0,001	—	0,002	—	0,001	0,002	—	0,001	0,003	0,002	—	0,002
Fe	0,011	0,163	0,008	0,007	0,010	0,004	0,084	0,008	0,004	—	0,005	0,004	0,004
Mn	—	0,000	—	0,002	—	—	—	—	—	—	—	0,002	—
<i>Миналы, мол. %</i>													
Or	2,2	0,6	2,8	1,9	3,2	0,8	2,2	2,2	1,6	0,8	1,8	0,6	0,7
Ab	72,4	88,4	74,2	71,1	75	94,4	69,3	74,5	85,2	86,4	92,2	97,4	98,8
An	25,4	11	23	27	21,8	4,8	28,5	23,3	13,2	12,8	6	2	0,5

пятнистой розовато-коричневой окраской в одном никеле. Местами она замещается хлоритом. Основная масса гранит-порфиров сложена мелкозернистым агрегатом лейстовидного альбита и кварца с размером зерен от 0,05–0,1 до 0,5–1 мм. В аксессуарных количествах в основной массе присутствуют топаз, флюорит и циркон.

Химический состав породообразующих минералов. Щелочные полевые шпаты в гранитоидах ММР представлены калинастровыми разностями, калишпатом и альбитом. В рапакиви и рапакивиподобных гранитах наиболее распространены калинастровые полевые шпаты. Вопреки данным [14] об однородности химического состава монофракций калинастровых полевых шпатов, выделенных из гранитоидов коростенского комплекса, в рапакиви ММР по результатам микрозондового анализа устанавливаются существенные вариации в отношении главных составляющих Or-Ab-An. Так, микропертитовые полевые шпаты имеют достаточно неоднородную калинастровую главную фазу Or_{61–91}Ab_{9–38}An_{0–1} и пертитовые вроски Or_{0,6–10}Ab_{75–96}An_{3–22} (табл. 2). Ли-

шенные пертитовых вросков индивиды имеют еще более неоднородный химический состав Or_{45–87}Ab_{13–53}An_{0,2–2} (табл. 3). Для рихтинских гранитов и биотитовых гранит-порфиров характерен микропертитовый калинастровый полевой шпат с более однородной калишпатовой главной фазой Or_{93–100}Ab_{0–7} и пертитами состава Or_{1–2}Ab_{89–98}An_{1–9}. Для микроклин-альбитовых гранит-порфиров характерен калишпат Or_{92–99}Ab_{1–8}.

Плагиоклазы в ядрах овоидов и межовоидной массе рапакиви и рапакивиподобных гранитов представлены олигоклазом Or_{2–4}Ab_{69–75}An_{22–29}. В некоторых зернах проявлена прямая зональность с внешней альбитовой каймой, имеющей состав альбита и олигоклаз-альбита Or₁Ab_{88–94}An_{5–11}. Альбитовый состав имеют также оболочки овоидов. В рихтинских гранитах основность плагиоклаза снижается до Or_{1–2}Ab_{85–86}An₁₃. Микроклин-альбитовые гранит-порфиры сложены альбитом Or_{0,6–1,5}Ab_{97–99}An_{0,2–2} (табл. 4).

Слюды гранитоидов ММР представлены биотитом и циннвальдитом (табл. 5). Для рапакиви и рапакивиподобных гранитов характер-

Таблица 5. Результаты микрозондового анализа слюд в гранитоидах ММР

Фаза	I		II							III		
Образец	51-45	67-52	146-2			51-50-23				51-10-9		
Анализ	Bi ₁₁	Bi ₂₀	Bi ₆	Bi ₇	Bi ₁₁	Bi ₅	Bi ₉	Bi ₁₀	Bi ₁₁	Mi ₅	Mi ₁₀	Mi ₁₂
<i>Вес. %</i>												
SiO ₂	32,77	34,12	35,75	34,89	33,79	34,27	33,66	34,36	34,72	42,68	44,96	42,83
TiO ₂	4,13	0,50	3,04	3,15	4,06	3,53	4,23	4,18	4,05	1,51	0,47	0,67
Al ₂ O ₃	12,78	13,94	14,95	14,58	13,78	13,16	14,49	12,51	12,61	21,51	22,12	22,24
FeO	38,42	39,09	36,28	35,57	35,49	35,86	34,82	35,15	35,59	19,39	18,12	19,78
MnO	0,25	0,20	0,40	0,47	0,41	0,32	0,38	0,3	0,36	1,11	0,94	1,00
MgO	1,53	1,15	0,61	0,72	0,6	0,96	0,82	0,98	0,89	0,16	—	0,02
CaO	0,05	0,12	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	0,23	0,27	0,06	0,12	—	0,14	0,15	0,1	0,12	—	—	0,06
K ₂ O	7,40	8,18	9,72	9,40	9,34	9,07	9,25	9,29	9,31	10,78	11,11	10,86
Cr ₂ O ₃	0,01	—	—	0,03	—	—	0,03	0,03	—	—	—	—
V ₂ O ₃	—	—	—	0,02	—	0,01	—	0,03	0,04	—	0,01	0,06
ZnO	0,12	0,14	0,38	0,45	0,3	0,38	0,27	0,34	—	0,28	0,19	0,19
NiO	0,19	0,05	0,04	0,19	0,1	0,14	0,09	0,09	0,04	0,19	0,09	0,14
<i>Формульные коэффициенты на 22 атома кислорода</i>												
K	1,550	1,715	1,943	1,916	1,942	1,889	1,908	1,942	1,931	1,947	1,954	1,955
Na	0,073	0,086	0,018	0,037	—	0,044	0,047	0,032	0,038	—	—	0,016
Ca	0,009	0,021	—	0,009	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	5,277	5,374	4,756	4,753	4,839	4,897	4,710	4,817	4,841	2,296	2,090	2,334
Mg	0,375	0,282	0,143	0,172	0,146	0,234	0,198	0,239	0,216	0,034	0,000	0,004
Al ^{VI}	—	0,310	0,366	0,321	0,158	0,129	0,207	0,047	0,064	1,634	1,797	1,743
Ti	0,510	0,062	0,358	0,379	0,498	0,433	0,515	0,515	0,495	0,161	0,049	0,071
Mn	0,035	0,028	0,053	0,064	0,057	0,044	0,052	0,042	0,050	0,133	0,110	0,120
Li	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,536	1,859	1,555
Si	5,381	5,609	5,604	5,575	5,509	5,596	5,445	5,630	5,646	6,044	6,201	6,044
Al ^{IV}	2,474	2,391	2,396	2,425	2,491	2,404	2,555	2,370	2,354	1,956	1,799	1,956
Fe/Fe+Mg	0,93	0,95	0,97	0,97	0,97	0,95	0,96	0,95	0,96	0,99	1,00	1,00

рен высокожелезистый биотит аннитового состава. Значения коэффициента железистости (Fe/Fe + Mg) изученных биотитов более высокие по сравнению с опубликованными [14] для гранитоидов Коростенского плутона. Особенно высока железистость биотитов в рихтинских лейкогранитах и биотитовых гранит-порфирах. Характерная особенность последних — высокая титанистость биотита. В микроклин-альбитовых гранит-порфирах распространена литиевая слюда, подобная цинвальдиту.

Амфиболы в гранитоидах ММР представлены роговой обманкой, ферроактинолитом и грюнеритом (табл. 6). Наиболее характерна первичная гастингситовая роговая обманка с отклонениями в сторону ферророговой обманки или феррочермакита. Значения коэффициента железистости изученных роговых обманок исключительно высоки и значитель-

но отличаются от ранее опубликованных [14] для амфиболов Коростенского плутона. Более того, полученные значения 0,89—0,97 отвечают лишь наиболее высоким цифрам, установленным [4] для амфиболов типичных комплексов рапакиви Балтийского щита. Достаточно устойчивые содержания алюминия в формулах изученных роговых обманок позволяют использовать их в качестве геобарометра. Постмагматические ферроактинолит и грюнерит, развивающиеся по первичным амфиболам, пироксенам или оливину в гранитоидах ММР, характеризуются железистостью 0,92—0,96 и 0,80—0,98 соответственно.

Пироксены в изученных фаялит-пироксен-амфиболовых гранитах и граносиенитах представлены феррогеденбергитом с достаточно постоянным составом $Wo_{41-43}En_{7-8}Fs_{50-51}$ (табл. 7). Кроме крайне высокой железистости их отличает пониженное содержание TiO₂,

Таблица 6. Результаты микронзондового анализа амфиболов в гранитоидах I фазы ММР

Амфибол	Роговые обманки					Ферро-актинолиты				Грюнериты			
	51-1		51-34			51-1	67-43			51-1		67-52	
Анализ	Amf ₄	Amf ₅	Amf ₁₁	Amf ₁₆	Amf ₁₈	Amf ₂₁	Amf ₉	Amf ₁₀	Amf ₁₆	Amf ₈	Amf ₁₉	Amf ₁₄	Amf ₁₈
<i>Вес. %</i>													
SiO ₂	38,99	38,21	40,24	40,76	41,64	44,09	45,23	45,14	47,99	43,59	42,5	46,21	45,25
TiO ₂	2,19	2,15	2,41	1,36	0,28	0,01	0,26	0,21	0,07	0,06	0,02	0,59	0,02
Al ₂ O ₃	8,14	8,02	7,55	7,49	7,43	1,46	2,73	2,39	2,02	3,27	0,49	2,04	2,63
FeO	34,32	33,77	32,87	33,81	34,09	35,17	33,66	33,38	36,93	45,44	48,84	33,53	42,11
MnO	0,3	0,35	0,21	0,3	0,35	0,66	0,41	0,52	0,52	0,88	0,95	0,76	0,48
MgO	0,55	0,55	2,23	2,17	2,39	0,89	1,67	1,6	1,01	0,57	0,53	4,79	0,72
CaO	10,51	10,46	10,75	10,88	10,89	14,11	10,79	10,77	10,85	1,27	0,8	1,85	0,27
Na ₂ O	1,22	1,33	1,45	1,18	1,12	0,10	0,36	0,15	0,30	0,17	0,16	0,14	0,22
K ₂ O	1,58	1,63	1,52	1,43	1,49	0,09	0,42	0,41	0,18	0,09	—	0,32	0,17
Cr ₂ O ₃	—	—	0,02	—	—	0,03	—	0,05	—	—	0,01	—	0,03
V ₂ O ₃	0,09	—	—	—	0,03	0,01	0,02	—	0,05	—	—	—	—
ZnO	0,07	0,18	0,14	0,28	0,32	0,06	0,01	0,24	—	—	—	0,73	0,1
NiO	0,14	0,17	0,21	0,15	0,08	0,10	0,16	0,08	0,14	—	—	—	—
<i>Формульные коэффициенты на 23 атома кислорода</i>													
Ca	1,826	1,846	1,821	1,832	1,821	2,529	1,884	1,896	1,813	0,231	0,149	0,336	0,050
Na	0,384	0,425	0,444	0,360	0,339	0,032	0,114	0,048	0,091	0,056	0,054	0,046	0,074
K	0,327	0,343	0,307	0,287	0,297	0,019	0,087	0,086	0,036	0,019	0,000	0,069	0,038
Fe ²⁺	3,751	3,793	3,444	3,279	3,162	4,920	3,888	3,862	3,923	5,974	6,010	4,756	6,109
Fe ³⁺	0,903	0,859	0,902	1,165	1,288	0,000	0,700	0,724	0,893	0,470	1,082	0,000	0,000
Mg	0,133	0,135	0,526	0,509	0,556	0,222	0,406	0,392	0,235	0,144	0,137	1,211	0,186
Al ^{VI}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,046	0,000	0,246	0,387
Ti	0,267	0,266	0,287	0,161	0,033	0,001	0,032	0,026	0,008	0,008	0,003	0,075	0,003
Cr	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000	0,000	0,001	0,111	0,004
Mn	0,041	0,049	0,028	0,040	0,046	0,094	0,057	0,072	0,069	0,126	0,140	0,109	0,071
Ni	0,018	0,023	0,027	0,019	0,010	0,013	0,021	0,011	0,018	—	—	—	—
Zn	0,008	0,022	0,016	0,032	0,037	0,007	0,001	0,029	0,000	0,000	0,000	0,091	0,013
Al ^{IV}	1,556	1,557	1,407	1,388	1,367	0,288	0,524	0,463	0,371	0,607	0,100	0,162	0,151
Si	6,322	6,295	6,362	6,407	6,500	7,375	7,371	7,415	7,483	7,393	7,379	7,838	7,849
Fe/Fe+Mg	0,97	0,97	0,89	0,90	0,89	0,96	0,92	0,92	0,95	0,98	0,98	0,80	0,97

Al₂O₃ и Na₂O. Следует отметить, что в литературе опубликован лишь один химический анализ моноклинного пироксена из рапакиви Коростенского плутона [14]. Состав его менее железистый, соответствующий ферроавгиту. Близкий к изученному феррогенденбергитовый состав имеют моноклинные пироксены из кварцевых сиенитов Корсунь-Новомиргородского плутона и Южно-Кальчикского массива, описанные в работе [13].

Оливин проанализирован лишь в двух зернах из образцов фаялит-пироксенового граносиенита и фаялит-пироксен-амфиболового гранита (табл. 8). В обоих случаях он представлен почти чистым фаялитом с коэффициентом железистости выше 0,98. Характерными особенностями изученных оливинов являются

максимальные значения железистости, высокое содержание MnO и низкое — NiO. Значение железистости оливинов в гранитоидах ММР несколько выше опубликованных ранее данных об оливинах из рапакиви Коростенского плутона. Оливины из сиенитов Корсунь-Новомиргородского плутона и Южно-Кальчикского массива по железистости подобны изученным.

Ильмениты в рапакиви и рапакиви-подобных гранитах ММР, в отличие от лучше изученных ильменитов из габброидов коростенского комплекса, содержат больше Fe₂O₃ и MnO, но меньше V₂O₃ и MgO (табл. 9).

Химический состав гранитоидов Малинского массива рапакиви. Гранитоиды ММР имеют типичные геохимические черты внутриплит-

ных анорогенных гранитов А-типа (табл. 10). Наиболее распространены среди них субщелочные калиевые рапакивиподобные граниты и рапакиви первой интрузивной фазы, содержащие 69–73 % SiO₂ и 8–9 — (K₂O + Na₂O). Меньшим содержанием кремнезема (64–69 %) характеризуются описанные выше фаялит-пироксеновые и фаялит-пироксен-амфиболовые граносиениты, среди которых наблюдаются отдельные отклонения в сторону кварцевых сиенитов и монзонитов. Максимальной кремнекислотностью (75–77 %) обладают биотитовые рапакивиподобные лейкограниты, гранит-порфиры, аплитовидные и микроклин-альбитовые микрограниты второй и третьей интрузивных фаз. Несмотря на повышенную щелочность, коэффициент агаитности (K + Na)/Al в гранитоидах ММР всегда меньше единицы из-за отсутствия в их составе щелочных амфиболов и пироксенов. При

этом в сумме щелочей калий обычно заметно преобладает над натрием (K₂O/Na₂O > 1,5), что объясняется составом полевых шпатов. Исключение составляют микроклин-альбитовые микрограниты, где K₂O/Na₂O < 0,7. Отмеченная крайне высокая железистость мафических минералов обуславливает высокую общую железистость изученных гранитоидов Fe/(Fe + Mg) > 0,80.

Кроме высокой общей щелочности и железистости для рапакиви и рапакивиподобных гранитов ММР характерно повышенное относительно кларкового для гранитоидов содержание K₂O, Ba, Rb, Ga, Zr, Y, Zn, La, Ce, Nd и пониженное — CaO, MgO, Al₂O₃, P₂O₅, Sr, Th. Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в сотни раз превышает хондритовое с обычным обогащением легкими лантаноидами и негативной европиевой аномалией. По сравнению со средним составом классических ра-

Таблица 7. Результаты микрозондового анализа пироксенов в гранитоидах I фазы ММР

Образец	51-34			67-52		
	Срх ₄	Срх ₆	Срх ₁₃	Срх ₁₃	Срх ₁₅	Срх ₁₆
	<i>Вес. %</i>					
SiO ₂	47,24	46,67	46,23	47,77	48,22	48,6
TiO ₂	0,35	0,38	0,46	0,33	0,41	0,28
Al ₂ O ₃	0,51	0,46	0,56	0,58	0,47	0,44
FeO	29,39	29,53	29,42	29,34	29,11	28,78
MnO	0,41	0,43	0,50	0,43	0,46	0,43
MgO	2,66	2,22	2,58	2,37	2,31	2,43
CaO	19,15	19,58	18,62	18,81	19,55	19,67
Na ₂ O	0,14	0,30	0,17	0,23	0,09	0,35
K ₂ O	0,08	0,04	0,03	0,06	0,07	0,1
Cr ₂ O ₃	0,03	0,07	—	0,02	—	0,09
V ₂ O ₃	0,08	—	—	—	0,02	—
ZnO	—	0,09	0,23	0,05	0,13	0,11
NiO	0,03	0,11	0,18	0,2	0,19	0,14
	<i>Формульные коэффициенты на 6 атомов кислорода</i>					
Ca	0,846	0,871	0,836	0,829	0,854	0,854
Na	0,011	0,024	0,014	0,018	0,007	0,027
Cr	0,001	0,002	—	—	—	0,003
Mg	0,164	0,137	0,161	0,145	0,14	0,147
Mn	0,014	0,015	0,018	0,015	0,016	0,015
Fe ⁺²	1,012	1,024	1,03	1,008	0,992	0,975
Ti	0,011	0,012	0,015	0,01	0,012	0,009
Al	0,025	0,022	0,028	0,028	0,023	0,021
Si	1,949	1,939	1,939	1,965	1,968	1,971
	<i>Миналы, мол. %</i>					
Wo	41,6	42,6	40,9	41,5	42,7	42,9
En	8,1	6,7	7,9	7,3	7,0	7,4
Fs	50,4	50,8	51,2	51,2	50,3	49,7

пакиви Финляндии [24], рапакиви и рапакви-виподобные граниты ММР обогащены Ba, Sr, Zr и обеднены Rb, Y, LTR, Th. Несколько обогащены геохимически микроклин-альбитовые микрограниты ММР. Они обогащены SiO₂, Na₂O, Rb, Nb, LTR, но обеднены TiO₂, FeO, MgO, CaO, K₂O, Ba, Sr, Zr, Zr относительно содержания в рапакиви и рапакви-виподобных гранитах ММР. Содержание РЗЭ несколько ниже, чем в рапакиви, без обогащения легкими лантаноидами, но с еще более выраженным европиевым минимумом.

Петрогенезис гранитоидов Малинского массива рапакиви. Условия залегания, интрузивный характер контактов, наличие приконтактных и жильных фаций, находки ксенолитов вмещающих пород, а также признаки термального воздействия на ксенолиты однозначно свидетельствуют о магматической природе гранитоидов Малинского массива. Следует отметить, что магматическое происхождение рапакиви принимается большинством петрологов, изучающих петрогенезис этих пород [9, 20–22, 24]. При этом широко дискутируются состав и источник первичных расплавов, физико-химические условия их кристаллизации, а также геотектоничес-

кий режим, способствовавший их формированию.

Изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,714$ и $\epsilon\text{Nd} = -2,0$ [2, 3] свидетельствуют о коровом магматическом источнике гранитоидов ко-

Таблица 8. Результаты микрозондового анализа оливинов в гранитоидах I фазы ММР

Образец	51-1	67-52	Образец	51-1	67-52
Анализ	Ol ₂₀	Ol ₁₉	Анализ	Ol ₂₀	Ol ₁₉
<i>Вес. %</i>					
SiO ₂	27,62	28,93	Na ₂ O	0,19	0,01
TiO ₂	0,06	—	K ₂ O	—	0,03
Al ₂ O ₃	—	0,04	Cr ₂ O ₃	—	0,02
FeO	69,09	69,59	V ₂ O ₃	—	0,07
MnO	1,29	1,16	ZnO	0,32	0,17
MgO	0,51	0,61	NiO	0,17	0,03
CaO	0,05	0,06			
<i>Формульные коэффициенты на 4 атома кислорода</i>					
Mg	0,026	0,031	Zn	0,008	0,004
Fe	2,003	1,969	Ti	0,002	—
Mn	0,038	0,033	Cr	—	0,001
Ni	0,005	0,001	Si	0,958	0,979
Ca	0,002	0,002	Al	—	0,002
<i>Минералы, мол. %</i>					
Fo	1,3	1,5	Fa	98,7	98,5

Таблица 9. Результаты микрозондового анализа ильменитов в гранитоидах I фазы ММР

Образец	51-1		51-34			67-43		67-52	
	Il ₁₅	Il ₁₆	Il ₅	Il ₁₂	Il ₁₄	Il ₁₃	Il ₁₄	Il ₉	Il ₁₇
<i>Вес. %</i>									
SiO ₂	0,4	0,15	0,16	0,70	0,17	0,19	0,26	0,14	0,21
TiO ₂	50,23	51,49	50,75	50,96	49,95	51,03	62,78	52,24	53,09
Al ₂ O ₃	0,32	0,16	0,15	0,25	0,18	0,2	0,17	0,17	0,21
FeO	46,59	47,95	47,35	47,04	47,71	45,91	37,55	47,63	49,48
MnO	0,68	0,66	0,72	0,68	0,69	1,99	1,15	1,32	0,64
MgO	0,02	—	0,14	0,07	—	0,01	—	—	0,15
CaO	0,04	—	0,10	0,02	0,04	0,01	0,13	0,04	0,03
Na ₂ O	0,25	0,1	0,18	0,19	0,08	0,24	0,24	0,1	0,28
K ₂ O	0,04	0,01	0,04	—	0,05	0,05	0,01	0,04	0,01
Cr ₂ O ₃	0,05	—	—	0,02	0,05	—	—	—	—
V ₂ O ₃	0,07	0,05	0,29	0,06	0,02	0,21	0,01	0,15	0,22
ZnO	0,08	0,12	—	—	0,03	0,43	0,13	0,1	0,07
NiO	0,16	0,04	0,02	—	0,08	0,19	0,21	0,21	0,08
<i>Формульные коэффициенты на 3 атома кислорода</i>									
Fe ⁺²	0,954	0,960	0,946	0,955	0,945	0,934	1,741	0,948	0,955
Mn	0,015	0,014	0,016	0,015	0,015	0,043	0,023	0,028	0,013
Mg	0,001	0,000	0,005	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Ti	0,972	0,973	0,969	0,975	0,960	0,975	1,114	0,977	0,971
Fe ⁺³	0,048	0,048	0,059	0,045	0,074	0,042	0,000	0,042	0,051
Al	0,010	0,005	0,005	0,008	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006

Таблица 10. Химический состав гранитоидов Малинского массива

Фаза Образец	I							II		III
	51-1	51-34	95004	67-43	67-52	102-2	95005	51-50-23	51-10-13	51-10-12
SiO ₂	67,91	69,54	71,48	71,98	72,17	72,60	73,33	75,28	75,44	77,08
TiO ₂	0,53	0,53	0,33	0,42	0,37	0,39	0,37	0,24	0,10	0,02
Al ₂ O ₃	14,17	12,74	13,43	12,69	12,86	12,75	11,89	11,94	11,70	11,87
Fe ₂ O ₃ *	—	—	3,45	4,14	3,72	—	3,47	2,89	0,30	1,06
FeO*	5,23	4,71	—	—	—	2,95	—	—	1,49	—
MnO	0,08	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04
MgO	0,21	0,24	0,13	0,36	0,21	0,25	0,20	0,24	0,20	0,13
CaO	2,52	2,01	1,63	0,90	1,32	1,29	1,14	0,44	0,65	0,43
Na ₂ O	2,62	3,01	3,22	2,85	2,75	3,19	3,14	2,01	3,21	5,20
K ₂ O	5,48	5,98	5,24	5,29	5,46	5,33	5,35	5,71	5,65	3,24
P ₂ O ₅	0,09	0,11	0,10	0,08	0,07	0,08	0,10	0,07	0,02	0,02
H ₂ O ⁻	0,32	0,36	—	0,04	0,11	0,19	—	0,14	0,12	0,22
П. п. п.	0,4	0,28	—	0,99	0,68	0,51	—	0,76	0,34	0,25
K ₂ O + Na ₂ O	8,1	8,99	8,46	8,14	8,21	8,52	8,48	7,72	8,86	8,44
K ₂ O/Na ₂ O	2,09	1,99	1,63	1,86	1,99	1,67	1,70	2,84	1,76	0,62
(K + Na)/Al	0,72	0,90	0,82	0,82	0,81	0,86	0,92	0,79	0,97	1,02
Fe/(Fe+Mg)	0,93	0,92	0,93	0,85	0,90	0,87	0,90	0,86	0,83	0,80
Ba	1731	1321	1438	—	—	899	833	—	34	112
Rb	192	180	200	178	213	224	200	431	681	500
Sr	168	140	144	119	110	89	78	23	18	34
Zr	1035	1270	563	697	811	408	472	182	347	52
Y	58	68	62	51	66	47	61	74	170	69
Nb	<20	<20	31	<20	<20	<20	28	<20	41	42
La	74	98	93	—	—	58	81	—	104	13
Ce	134	149	145	—	—	111	119	—	184	26
Nd	50	54	57	—	—	34	51	—	76	23
Zn	171	137	107	—	—	98	113	—	148	25
Pb	28	26	27	—	—	30	34	—	59	29
Cu	14	<3	37	—	—	24	36	—	71	9
Ga	23	23	20	—	—	18	18	—	23	25
Th	10	11	8	—	—	18	9	—	55	20

Примечание. Содержание главных петрогенных оксидов (в вес. %) определено на энергодисперсионном XRF-спектрометре, аналитик В.В. Загородний, Fe₂O₃* и FeO* — суммарное окисное и закисное железо; концентрации редких и рассеянных элементов (в ppm) определены на волноводисперсионном XRF-спектрометре, аналитик А.В. Андреев. Анализ 51-10-12 заимствован из работы [10].

ростенского комплекса. Химический состав исходных и промежуточных расплавов частично зафиксирован в краевых и жильных фазах гранитоидов Малинского массива. Жильные разновидности гранитоидов ММП, соответствующие трем последовательным фазам внедрения Ia, Pa и PII, опробованы в карьере № 31 у с. Гранитное (табл. 11). Учитывая фациальный облик пород, можно предположить, что выборка жильных гранитоидов иллюстрирует состав последовательных жидких фракционатов, образующихся в ходе эволюции первичного гранитоидного расплава. По сравнению со средним составом верхней кон-

тинентальной коры, материнские магмы ММП обогащены SiO₂, K₂O, Rb, Zr, Y, Nb, Ta, TR (кроме Eu), Hf и обеднены TiO₂, P₂O₅, V, Ni, Sr. Эволюция исходного расплава сопровождается накоплением Rb, Cs, Ga, Lu, Yb, Ta, W, Ni, Bi, U и уменьшением содержания TiO₂, FeO, MgO, CaO, Ba, Sr, Zr, Hf, LTR в конечных дифференциатах (рис. 2; табл. 11).

В связи с вопросами петрогенезиса примечательны взаимоотношения гранитоидов ММП с анортозитовыми породами Федоровского массива. Ранее для габбро-анортозитов пенезевичского типа (A₂), относящихся ко второй (главной) фазе внедрения Федоров-

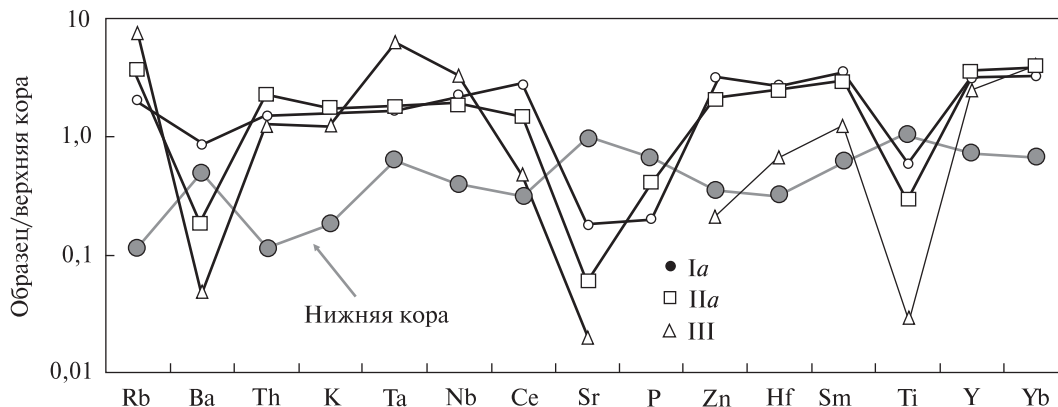


Рис. 2. Спайдер-диаграмма распределения микроэлементов в жильных разновидностях гранитоидов Малинского массива рапакиви, нормированного к составу верхней континентальной коры. Ia — гранит-порфир рапакиви-подобный амфибол-биотитовый, I интрузивная фаза (обр. 51-50-20); IIa — гранит-порфир биотитовый, II интрузивная фаза (обр. 51-50-14); III — гранит-порфир микроклин-альбитовый, III интрузивная фаза (обр. 51-10-9). Для сравнения приведено распределение микроэлементов в нижней континентальной коре

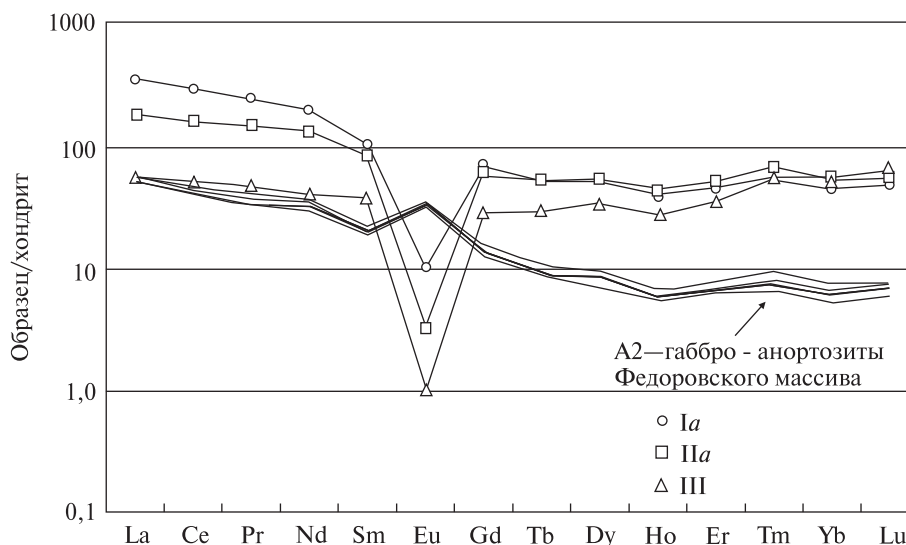


Рис. 3. Распределение РЗЭ в жильных разновидностях гранитоидов Малинского массива рапакиви, нормированное к хондриту. Для сравнения показано распределение РЗЭ в габбро-анортозитах второй фазы внедрения Федоровского массива

ского массива, установлена кумулятивная природа [17]. Характер распределения РЗЭ позволяет сделать вывод, что "расплавный" ряд Ia—IIa—III не может быть образован путем отсадки кумулатов A_2 из единого расплава (рис. 3). Так, любой исходный расплав, лежащий на нормированном графике выше A_2 , при удалении кумулатов состава A_2 должен давать комплементарный ряд жидких фракционатов, последовательно обогащающихся РЗЭ. Наблюдаемое распределение РЗЭ в ряду Ia—IIa—III прямо противоположно. С учетом геологических данных о несомненно более молодом возрасте гранитоидов, можно сделать вывод

об отсутствии прямой генетической связи типа "кристаллический остаток — комплементарный остаточный расплав" между базитовой и гранитоидной составляющими коростенского комплекса. Ранее к подобному выводу пришли [19] на основании моделирования распределения РЗЭ в базитах Володарск-Волынского массива и ассоциирующих с ними гранитоидах коростенского комплекса.

Для оценки PT условий кристаллизации гранитоидов ММР использованы результаты изучения химического состава мафических минералов в гранитах I и II интрузивных фаз, а также данные о контактовом метаморфизме

Таблица 11. Результаты ICP-MS анализа жильных разновидностей гранитоидов ММР

Фаза	Ia	IIa	IIIa
Образец	51-50-20	51-50-14	51-10-9
SiO ₂	73,58	75,21	75,04
TiO ₂	0,45	0,22	0,02
Al ₂ O ₃	12,64	12,02	14,08
Fe ₂ O ₃ *	2,96	2,19	0,98
MnO	0,05	0,04	0,05
MgO	0,26	0,1	0,04
CaO	0,71	0,35	0,25
Na ₂ O	2,85	2,59	4,17
K ₂ O	5,36	5,97	4,2
P ₂ O ₅	0,03	0,06	<0,01
П. п. п.	0,6	0,8	0,9
Ba	473	106	27
Sr	63,8	21,7	6,9
Rb	228,1	405,4	875,6
Cs	1,6	2,9	19
Ga	24,8	26,4	36,9
Co	1	1,2	<0,5
Ni	7,4	12,3	21,4
Cu	4	14	4
Pb	4,4	22,8	8,3
Zn	37	68	46
Cd	<0,1	0,3	<0,1
As	<0,5	<0,5	1,7
Zr	596,9	393,8	39,9
Y	68,4	77,2	55,6
Hf	15,6	14,2	3,9
Nb	30,4	25,9	46,1
Ta	1,6	1,7	6,1
Hg	<0,01	<0,01	0,02
Au	0,0029	0,0026	<0,0005
Sn	<1	<1	14
W	1	2	4
Mo	1,1	6,1	1,4
Bi	<0,1	0,1	0,9
Tl	0,2	0,2	0,9
La	83,5	41,9	12,9
Ce	176,2	96	30,4
Pr	22,51	13,29	4,26
Nd	90,1	60,3	17,9
Sm	15,5	12,9	5,7
Eu	0,6	0,19	0,06
Gd	14,05	12,33	5,69
Tb	2,13	2,1	1,2
Dy	12,15	12,73	8,02
Ho	2,42	2,63	1,67
Er	7,31	8,13	5,72
Tm	1,07	1,34	1,11
Yb	7,26	8,52	8,9
Lu	0,98	1,08	1,28
U	3,3	5,4	8,9
Th	15,8	24,1	13,6

пород "рамы" ММР. Для оценки давления использован состав роговых обманок из биотит-амфиболовых гранитов ММР. Эмпирический геобарометр [23], основанный на содержании алюминия в формулах амфиболов, позволяет для изученных роговых обманок определить значение давления 3,0—3,9 кБар, которое заметно отличается от опубликованного ранее [6] для гранитоидов Волынского пегматитового поля и свидетельствует о большей глубине эрозионного среза ММР (по сравнению с юго-западной частью Коростенского плутона). Новообразованные минеральные парагенезисы в ксенолитах пород "рамы", залегающих в биотит-амфиболовых гранитах, свидетельствуют о контактово-термальном метаморфизме, достигающем уровня пироксен-роговиковой фации, т. е. температуры более 850 °С и давления 3—4 кБар. Использование биотитового геотермометра, предложенного (Lühr et al., 1984), дает возможность оценить субсолидусную температуру кристаллизации биотитовых лейкогранитов и аплитовидных гранитов в 870—900 °С.

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы относительно особенностей петрогенезиса гранитоидов Малинского массива. 1. Малинский массив рапакиви представляет собой сложный субплатформенный интрузив протерозойского возраста, в составе которого различаются три интрузивные фазы: I — амфиболовых и биотит-амфиболовых гранитов, II — биотитовых лейкогранитов, гранит-порфиров и аплитовидных гранитов, III — микроклин-альбитовых гранит-порфиров.

2. Малинский массив — один из наиболее эродированных массивов рапакиви в пределах Коростенского плутона с глубиной эрозионного среза не менее 9 км. В пределах массива наиболее широко представлены рапакиви и рапакивиподобные граниты плутонической фации. Менее распространены гранитоиды краевой, гипабиссальной и жильной фаций.

3. Исходный расплав интрузий ММР имел коровое происхождение и принадлежал к щелочной гранитоидной серии с характерными минералогическими и геохимическими особенностями внутриплитных анорогенных гранитоидов А-типа.

4. Условия кристаллизации исходного расплава — температура 870—900 °С и общее давление 3—4 кБар. Его магматическая эволюция сопровождалась заметным накоплением Li,

Rb, Cs, Sn, Nb, Ta и W в конечных дифференциатах, определившим их металлогеническую специализацию. В производных II и III интрузивных фаз можно ожидать про-

мышленные скопления литиевых слюд, касситерита, вольфрамита и тантало-ниобатов позднемагматического жильного и грейзенового типов.

1. Білан О.В., Митрохин О.В. Контактів взаємовідношення порід коростенського комплексу на прикладі Малинського масиву рапаківі // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. — 2005. — Вип. 33. — С. 23—26.
2. Богати́ков О.А., Карпенко С.Ф., Суханов М.А., Спиридонов В.Г. Sm-Nd изотопная система анортозит-гранитной формации Украинского щита (Коростенский массив) // Докл. АН СССР. — 1988. — **301**, № 2. — С. 430—433.
3. Богати́ков О.А., Летников Ф.А., Марков М.С., Суханов М.К. Анортозиты и ранние этапы развития Земли и Луны // Анортозиты Земли и Луны. — М.: Наука, 1984. — С. 246—271.
4. Великославинский Д.А., Биркис А.П., Богати́ков О.А. и др. Анортозит-рапакивигранитная формация Восточно-Европейской платформы. — Л.: Наука, 1978. — 296 с.
5. Верхогляд В.М. Возрастные этапы магматизма Коростенского плутона // Геохимия и рудообразование. — 1995. — Вып. 21. — С. 34—47.
6. Возняк Д.К., Павлишин В.І. Фізико-хімічні умови формування та особливості локалізації заноришових пегматитів Волині (Український щит) // Мінерал. журн. — 2008. — **30**, № 1. — С. 5—20.
7. Геологическая карта восточной части Коростенского плутона (Федоровский массив и его обрамление) 1 : 150 000 планшеты М-35-35-Г, М-35-47-Б, М-35-47-Г : Отчет ГСП-35 ЖГРЭ / И.П. Букович, А.Л. Кашеев, Н.П. Дидцул, А.И. Тимошенко. — Киев, 1976. — 537 с.
8. Геологическая карта 1 : 50 000 листов М-35-46-Г; М-35-47-В; М-35-58-Б, В, Г; М-35-59-А : Отчет ГСП-3 ЖГРЭ / М.И. Хворов, Г.П. Хворова, А.А. Веселов, А.А. Самойленко. — Киев, 1970.
9. Есипчук К.Е., Шеремет Е.М., Зинченко О.В. и др. Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита / Отв. ред. И.Б. Щербаков. — Киев : Наук. думка, 1990. — 236 с.
10. Зинченко О.В., Лазарева І.І. Новий прояв топаз-цинвальдитових гранітів в Коростенському плутоні // Геологія і магматизм докембрію Українського щита. — К., 2000. — С. 185—187.
11. Зинченко О.В., Скобелев В.М., Есипчук К.Е. и др. Коростенский комплекс // Петрология, геохимия и рудоносность интрузивных гранитоидов Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 1990. — С. 134—164.
12. Карякин А. До петрографії вибухових порід Малинського масиву // Зап. Н.-д. ін-ту геології при ХДУ. — 1935. — **5**, вип. 1. — С. 37—57.
13. Кривдик С. Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 1990. — 406 с.
14. Личак И.Л. Петрология Коростенского плутона. — Киев : Наук. думка, 1983. — 246 с.
15. Лучицкий В.И. Рапакиви Киевской губернии и породы, его сопровождающие // Изв. Варш. политехн. ин-та. — 1912. — Вып. 1. — С. 96—332.
16. Митрохин О.В. Анортозит-рапаківігранітна формація Східно-Європейської платформи // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. — 2008. — Вип. 44. — С. 53—57.
17. Митрохин А.В., Богданова С.В., Шумлянский Л.В. Полибарическая кристаллизация анортозитов Коростенского плутона (Украинский щит) // Мінерал. журн. — 2008. — **30**, № 2. — С. 36—56.
18. Соболев В.С. Петрология восточной части сложного Коростенского плутона. — Львов, 1947. — 140 с.
19. Суханов М.К., Тарасенко В.С., Ляпунов С.М., Ермолаев Б.В. Взаимоотношения главных типов пород анортозит-гранитной формации Украинского щита по данным распределения редкоземельных элементов // Докл. АН СССР. — 1988. — **301**, № 3. — С. 700—703.
20. Шарков Е.В. Внутриплитные магматические системы середины протерозоя на примере анортозит-рапакивигранитных комплексов Балтийского и Украинского щитов // Рос. журн. наук о Земле. — 1999. — **1**, № 4.
21. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. — Львов : ЗУКЦ, 2005. — 364 с.
22. Naapala I., Rämö O.T. Rapakivi granites and related rocks : an introduction // Precamb. Res. — 1999. — No 95. — P. 1—7.
23. Hammarstrom J.M., Zen E. Aluminum in hornblende : an empirical igneous geobarometer // Amer. Miner. — 1986. — **71**. — P. 1297—1313.
24. Rämö O.T., Naapala I. One hundred years of Rapakivi Granite // Mineralogy and Petrology. — 1994. — **52**. — P. 129—185.

Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, Київ
Лунд. ун-т, Лунд, Швеція

Поступила 10.02.2009

РЕЗЮМЕ. Представлено нові дані з петрології Малинського масиву гранітів рапаківі, розташованого в межах недостатньо дослідженої південно-східної частини Коростенського плутону. На підставі вивчення умов залягання, структурно-текстурних особливостей та речовинного складу гранітоїдів обґрунтовано виокремлення в межах масиву трьох інтрузивних фаз: I — амфіболових та біотит-амфіболових гранітів, II — біотитових лейкогранітів, граніт-порфірів та аплітоїдних гранітів, III — мікроклін-альбітових граніт-порфірів. Припускається значна еродованість Малинського масиву, порівняно з іншими гранітоїдними інтрузіями коростенського комплексу. Зроблено висновки щодо складу вихідних магм, умов їх кристалізації та металоґенічної спеціалізації гранітоїдів Малинського масиву.

SUMMARY. The new data on petrology of Malin rapakivi granite massif, located in poorly-investigated south-east part of Korosten Pluton are presented in this work. Three magmatic phases are distinguished within the massif by studying of occurrence conditions, structural-textural features and composition of the granites. These are: I — phase of hornblende and biotite-hornblende granites, II — phase of biotite leucogranite, granite-porphyrines and aplitic granites, III — phases of microcline-albitic granite-porphyrines with topaz and lithium mica. A significant level of erosion is supposed for the Malin massif in comparison with other rapakivi granite intrusions of the Korosten complex. Conclusions about initial magmas composition, crystallization conditions and ore potential are made by the authors for the Malin massif granite.