

мл. – М., 1969. 12. *Anderson D.L.* Theory of the Earth. – Boston. – <http://resolver.caltech.edu/CaltechBOOK>: 1989.001. 13. *Elkins L.T., Grove T.L.* Ternary feldspar experiments and thermodynamics models // *Am. Mineral.* – 1990. – V. 75. – P. 544-559. 14. *Bowen N.L., Tuttle O.F.* The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-H}_2\text{O}$ // *J. Geol.* – 1950. – P. 489-511. 15. *Boyd F.R., England J.L.* Effects of pressure on the melting of diopside, $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, and albite, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, in the range up to 50 kilobars // *J. Geophys. Res.* – 1963. – V. 68. – P. 311-323. 16. Comparison of petrophysical and rock geochemical data in the Tampere-Hameenlinna area, southern Finland / Lahtinen, Raimo and Korhonen, Juha V. // *Geological Survey of Finland: Bulletin.* – 1996. – N. 392. 17. *Johannes W.* Melting of plagioclase in the system $\text{ab-an-H}_2\text{O}$ and $P_{\text{H}_2\text{O}}=5$ kbar, an equilibrium problem // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 1978. – V. 66. – P. 295-303.

18. *Morey G.W.* Phase-equilibrium relations of the common rock-forming oxides except water // *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 440-L, L1-L158. – 1964. 19. *Morse S.A.* Alkali feldspars with water at 5 kb pressure // *J. Petrol.* – 1970. – V. 11. – P. 221-251. 20. *Navrotsky A., Hon R., Weill D.F., Henry D.J.* Thermochemistry of glasses and liquids in the systems $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8$, $\text{SiO}_2\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8$ and $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-Na}_2\text{O}$ // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1980. – V. 44. – P. 1409-1423. 21. *Presnall D.C.* Phase Diagrams of Earth-Forming Minerals // *Min. Physics and Crystallography: A Handbook of Physical Constants* AGU Reference Shelf 2. – 1995. 22. *Yoder H.S., Jr., Stewart D.B., Smith J.R.* Ternary feldspars // *Carnegie Inst. Washington Year Book.* – 1957. – V. 56. – P. 206-214.

Надійшла до редколегії 13.05.09

УДК 551.22+552.321.5+553.4

Т. Митрохіна, асп.,
О. Митрохин, канд. геол. наук

ТИТАНОНОСНІ ІНТРУЗІЇ В АНОРТОЗИТОВИХ КОМПЛЕКСАХ ПРОТЕРОЗОЮ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Загнітком)

Виконано порівняльну характеристику титаноносних інтрузій найбільш типових протерозойських анортозитових комплексів. Виявлено, що інтрузії коростенського комплексу Українського щита, комплексу Рогаланд Балтійського щита та комплексу Хавер-Сент-П'єр Канадського щита відносяться до різних формаційних типів. Інтрузії коростенського комплексу належать до субплатформенної анортозит-рапаківігранітної формації. Інтрузії комплексів Рогаланд та Хавер-Сент-П'єр є складовими орогенної анортозит-мангерит-чарнокітової формації. Зроблено висновки про вплив геодинамічних умов становлення титаноносних інтрузій на головні механізми концентрації Fe-Ti оксидних мінералів, а також на характер локалізації, форми залягання, структурно-текстурні особливості та речовинний склад руд.

The comparative characteristic of Ti-bearing intrusions within the most typical proterozoic anorthosite complexes is performed in the article. It is revealed, that the Korosten complex intrusions of the Ukrainian Shield, the Rogaland complex intrusions of the Baltic Shield and the Havre-Saint-Pierre complex intrusions of the Canadian Shield belong to different petrographic associations. The Korosten complex belong to anorogenic rapakivi granite-anorthosite association. The Rogaland complex and Havre-Saint-Pierre complex are parts of orogenic anorthosite-mangerite-charnockite-granite association. The conclusions about influence of geodynamic conditions on the main mechanisms of Fe-Ti oxide mineral concentration and also on the localization of ore bodies, their mode of occurrence, textural features and composition are made.

Постановка проблеми. Металевий титан та діоксид титану TiO_2 мають надзвичайно широке застосування в різних сферах. За даними [20], титан визнано одним з небагатьох металів, чиє використання у найближчому майбутньому буде тільки зростати. Найбільш цінними якостями титану є: міцність, легкість, висока температура топлення та хімічна стійкість. Разом з тим, лише близько 10 % видобутих титанових руд безпосередньо переробляється на металевий титан. Інші 90 % використовуються для виробництва пігментного TiO_2 . Завдяки високим показникам світло-відбиття, хімічній та термічній стійкості TiO_2 використовується як пігмент у виробництві фарб, пластмас, високоякісного паперу, каучуку, косметики, штучних волокон тощо. Діоксидом титану поступово замінюють свинцеві, цинкові та барієві пігменти в лакофарбній промисловості. Прогнозується, що в целюлозно-паперовій промисловості TiO_2 також буде поступово витісняти традиційний пігмент – каолін. В цілому, на початку 2000-х років світові потужності по виробництву діоксиду титану коливались в межах 4,5-5,0 млн т. Економічно важливі мінерали титану видобувають із сучасних та похованих розсипищ, кір вивітрювання та твердих кристалічних порід. На даний момент дві третини світового видобутку TiO_2 припадають на розсипні родовища ільменіту та рутилу. Однак, у відношенні перспективних запасів, розсипища мають підпорядковане значення порівняно з ендегенними родовищами. Експерти стверджують, що розсипні родовища будуть вичерпані у найближчі 20-30 років. Родовища анатазу в корах вивітрювання лужних вивержених порід тільки починають розроблятися. При цьому, їх значення у світових запасах є навіть меншим, ніж у розсипищ. У зв'язку з цим зростає роль інших родовищ мінералів титану і, насамперед, корінних родовищ магматогенного походження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На даний час тільки три формаційні типи магматичних ком-

плексів являють інтерес у відношенні промислового видобутку титанвміщуючих мінералів: автономні анортозитові комплекси протерозою, стратиформні базит-ультрабазитові комплекси, лужні інтрузивні комплекси [17]. Цінність саме цих формаційних типів визначається трьома факторами: 1) ці петрографічні комплекси включають значні об'єми гірських порід з високим валовим вмістом титану; 2) титан в цих породах сконцентрований переважно в Fe-Ti оксидних мінералах – ільменіті та титаномангетиті; 3) розміри та форма виокремлень Fe-Ti оксидних мінералів дозволяють їх ефективно вилучати та концентрувати. Родовища ільменіту та титаномангетиту, які пов'язані з протерозойськими анортозитовими комплексами, є найбільш важливим генетичним типом корінних родовищ титану [5]. Найбільш відомими прикладами титаноносних габро-анортозитових комплексів є: 1) комплекс Хавер-Сент-П'єр з родовищами Аллард Лейк та Лак-Тіо, Канада [19]; 2) комплекс Адірондак з родовищем Сенфорд Лейк, США [17]; 3) комплекс Рогаланд з родовищами Теллес та Сторгенджен, Норвегія [14]. Не дивлячись на те, що на даний час розробляються лише два родовища цього типу – Лак-Тіо та Теллес, частка їх серед інших родовищ титанових руд досить значна. Лак-Тіо дає 890 тис тонн, Теллес – 550 тис тонн TiO_2 щорік, що загалом складає майже третину світового видобутку [17]. Масштаби зруденіння та парагенезиси Fe-Ti оксидних мінералів в габро-анортозитових комплексах визначаються петрографічними асоціаціями та складом рудовмісних порід – анортозитів, титаноносних габроїдів, феродіоритів та ін. При цьому, на якість руд безпосередньо впливають умови петрогенезису конкретних анортозитових комплексів та їх складових частин. Вважається, що масиви протерозойських анортозитів "massif type" були укорінені частково магматичним шляхом, а частково за рахунок тектонічних або діапирових про-

цесів і, внаслідок деформацій, набули форми куполів [13]. Вік таких анортозитових масивів лежить в межах 1800-900 млн років. Анортозити змінюються за складом від андезитового типу до лабрадоритового. Деякі з них мають крайові фації габроїдів, дещо збагачені на мафічні мінерали [13]. Власне анортозити мають невисокий вміст TiO_2 і вміщують зовсім мало Fe-Ti оксидних мінералів. Але в анортозитових масивах присутні ферогабро, феродіорити та пов'язані з ними породи, що збагачені на TiO_2 і вміщують Fe-Ti оксидні мінерали у достатній для вилучення кількості. Вони містять значно більшу кількість TiO_2 і P_2O_5 , ніж звичайні габроїди та діорити. Для них також характерний надзвичайно високий вміст FeO, особливо у відношенні до MgO [1]. Ці породи формують магматичні поклади, що структурно перебивають більш давні анортозити, а також утворюють дайки в анортозитах та інших вміщуючих породах. Титанвміщуючі оксидні мінерали, які присутні в цих вивержених комплексах, представлені ільменітом, титаномagnetитом, ульвошпінеллю та, в менших кількостях, – рутилом [5]. Найбільше значення серед них має ільменіт. Звичайними є зростки ільменіту з іншими оксидами. Присутність або відсутність ільменіту у вигляді окремих одиничних кристалів без зростків надалі безпосередньо впливає на економічну цінність родовища. Взагалі, присутність TiO_2 у вигляді твердого розчину або тонких вросків у магнетиті має меншу промислову цінність. Родовища, пов'язані з анортозитовими масивами, бувають двох типів. До першого типу відносяться власне магматогенні родовища, що сформувалися зі збагаченого на титан розплаву. Другий тип сформувався в умовах високотемпературного контактового метасоматозу титанвміщуючих порід [17]. Геологічне положення цих типів родовищ подібне. Наприклад, в Розеланді (Вірджинія), обидва типи присутні в одному районі, але були сформовані у різний час. Взагалі, магматогенні ільменітові родовища можуть помітно відрізнятися одне від одного, демонструючи значні внутрішні варіації. Так, E. Force розрізняє три петрографічні асоціації титанових порід в анортозитових комплексах: 1) андезиніт-лабрадоритову; 2) ферогабро-анортозитову; 3) нельсонітову з масивними рудами [17]. В межах Українського щита комплексні фосфортитанові руди ендегенного походження розвідані у габро-анортозитових масивах коростенського та корсунь-новомиргородського комплексів [18]. Це переважно бідні та середньо-вкrapлені руди. Густо-вкrapлені та суцільні руди є рідкісними. За мінеральним складом розрізняють: апатит-ільменітові руди в троктолітах, апатит-ільменіт-титаномagnetитові руди в перидотитах та піроксенітах, апатит-ільменітові та ільменітові руди в олівінових габро та габро-норитах [10-11, 8].

Формулювання цілей статті. Метою проведених досліджень було дати порівняльну геолого-петрографічну характеристику титанових інтрузій з найбільш типових протерозойських анортозитових комплексів Українського, Балтійського та Канадського щитів.

Титанові інтрузії коростенського комплексу (Україна). Розшаровані інтрузії титанових габроїдів розповсюджені у східній частині Волинського мегаблоку Українського щита [4, 8]. Крупні розсіпні родовища ільменіту, а також корінні апатит-титаномagnetит-ільменітові родовища, просторово та генетично пов'язані з цими інтрузіями. В діючій кореляційній схемі докембрію Українського щита титанові інтрузії віднесені до складного коростенського комплексу ранньопротерозойського віку (PR₁ks). Коростенський комплекс включає однойменний плутон анортозит-рапаківігранітної формації, а також ряд дрібних габро-

анортозитових масивів у його північному облямуванні. Титанові інтрузії встановлені у межах габро-анортозитових масивів Коростенського плутону і його облямування, а також в полі розвитку гранітоїдів коростенського комплексу. Найбільш відомі Стремгородська, Федорівська, Кропивенська, Рижани-Паромівська, Пенізевицька, Давидківська та Юрівська інтрузії.

Стремгородська титанові інтрузія (СТІ) розташована в південно-західній частині Чоповицького габро-анортозитового масиву [2, 4, 9]. В плані СТІ має форму неправильного овалу, дещо витягнутого у північно-західному напрямку, розміром 2400*900 м. На глибину вона простежена свердловинами на 1400 м. Імовірна форма залягання інтрузії – субвертикальний диференційований шток. Інтрузія характеризується явно вираженою мегарозшарованістю на три горизонти. У розрізі рудні меланократові троктоліти і плагіоперидотити нижче змінюються горизонтом рудних мезократових троктолітів і олівінових габро. На глибині мезократові габроїди, в свою чергу, підстилаються горизонтом лейкоратових габро. Характерною ознакою титанових габроїдів СТІ є досить чітко виражена директивна текстура, обумовлена субпаралельним розташуванням видовжених таблиць плагіоклазу. При цьому найбільш виразно вона проявлена у троктолітах. В цілому, у межах інтрузиву встановлюється наступна закономірність у спрямованості директивної текстури: у зовнішніх зонах інтрузії залягання площин директивності круте (90-60°), загалом узгоджене з падінням контактів. У напрямку до центру інтрузії спостерігається помітне виположення площин директивності аж до 40° та менше. Стремгородська інтрузія характеризується бідним та середньо-вкrapленим апатит-ільменітовим зруденінням. Максимальні концентрації ільменіту та апатиту приурочені до мелатроктолітів та плагіоперидотитів.

Федорівська титанові інтрузія (ФТІ) знаходиться в південно-західній частині Володарськ-Волинського габро-анортозитового масиву [6]. В плані ФТІ має видовжену у північно-східному напрямку дугоподібну форму і розміри 300*3500 м. У розрізі ФТІ характеризується коритоподібною формою з максимальною вертикальною потужністю близько 300 м. В розрізі ФТІ виділяються три горизонти. Верхній горизонт складений рудним олівіновим габро, досить однорідним за складом і структурно-текстурним особливостям. Середній горизонт складений рудним олівіновим мелагабро, з підпорядкованими прошарками мезократових габроїдів. Нижній горизонт складений пачкою чергованих різновидів габроїдів від лейкократових до мезо- і меланократових, що плавно переходять один у інші. Директивні текстури в габроїдах ФТІ проявлені гірше, ніж в СТІ. Кути падіння площин директивної та смугастої текстур середнього горизонту складають 40-65°. Бідне та середньо-вкrapлене апатит-ільменітове зруденіння пов'язане з олівіновими габро та мелагабро.

Кропивенська титанові інтрузія (КТІ) розташована в центральній частині Володарськ-Волинського масиву [11]. Має форму овальної лінзи з максимальною потужністю 350 м. У напрямку від центру до периферії КТІ спостерігається зміна рудних олівінових піроксенітів та верлітів, спочатку – рудними олівіновими габро, і далі – вміщуючими лейкогабро та габро-анортозитами. Директивні та смугасті текстури, з похилим падінням під кутами 10-15°, проявлені краще, ніж в габроїдах ФТІ. На відміну від СТІ та ФТІ, головним концентратором титану в породах КТІ є титаномagnetит, а не ільменіт. Вкrapлене апатит-ільменіт-титаномagnetитове зруденіння залягає в олівінових габро, піроксенітах та верлітах.

Пенізевицька титаноносна інтрузія (ПТІ) локалізована в західній частині Федорівського габро-анортозитового масиву [7]. Дайкоподібне тіло метаморфізованих титаноносних габроїдів залягає в габро-анортозитах поблизу від контакту з гранітоїдами коростенського комплексу та має меридіональне простягання при суб-вертикальному падінні. Потужність рудного тіла складає 35 м, контакти різкі з ксенолітами вміщуваних габро-анортозитів, що місцями утворюють еруптивну брекчію. Внутрішня будова тіла характеризується елементами первинного розшарування з чергуванням прошарків потужністю 20-50 см, що відрізняються за вмістом мафічних мінералів. Директивні текстури підкреслюються орієнтацією таблиць плагіоклазу, які мають круте, 70-80°, залягання і падіння на захід. Титаноносні габроїди та вміщуючі габро-анортозити зазнали часткової сосоритизації та амфіболізації. Найменш змінені відміни титаноносних габроїдів представлені меланократовими рудними норитами. Порівняно з титаноносними габроїдами інших родовищ Коростенського плутону, рудні норити Пенізевицького рудопрояву характеризуються найбільшими концентраціями ільменіту і, натомість, малим вмістом апатиту.

Давидківська титаноносна інтрузія (ДТІ) знаходиться в північно-східній частині Коростенського плутону і залягає серед гранітоїдів коростенського комплексу [3]. У плані ДТІ має близьку до ізометричної округлу форму з діаметром близько 6 км. На глибину інтрузія розбурена до 800 м. Бурінням встановлено, що ДТІ має концентрично-зональну будову і складена сієнітами, габроїдами та габро-діабазами. У розрізі передбачається розшарована будова – сієніти верхнього горизонту на глибину змінюються горизонтом андезитів, що підстеляються рудними олівіновими габро з прошарками рудних троктолітів та плагіоперидотитів. Габро-діабази складають ендоконтактову зону інтрузії. Подібно до ПТІ, титаноносні габроїди ДТІ зазнали інтенсивних постмагматичних перетворень. Бідне та середньо-вкрплене ільменітове зруденіння сконцентроване переважно в донній частині інтрузії. Визначальною особливістю рудних габроїдів ДТІ є найвищі концентрації апатиту.

Мінеральний склад титаноносних порід коростенського комплексу досить різноманітний – тут представлені майже вся родина габроїдів, а також різко підпорядковані піроксеніти та перидотити. В цілому, можна говорити про наявність трьох петрографічних типів титаноносних інтрузій. Найбільш розповсюджені інтрузії титаноносних олівінових габро, прикладами яких є Федорівська, Кропивенська, Давидківська та Рижани-Паромівська. Рідкісно зустрічаються інтрузії титаноносних норитів, на манір Пенізевицької. Рідкісний тип являє собою також Стремигородська інтрузія титаноносних троктолітів. Вміст ільменіту та магнетиту в титаноносних габроїдах відповідає бідним і середньовкрпленим рудам (5-30 %), інколи зустрічаються густовкрплені руди (30-40 %), прикладом яких є норити Пенізевицької інтрузії. Кумулятивні структури в титаноносних габроїдах обумовлені більш раннім виділенням олівіну і апатиту по відношенню до піроксену, а також, інколи, до рудних мінералів та плагіоклазу. Очевидно, кумулятивну природу має також дрібно-шарувата текстура титаноносних габроїдів з чергуванням прошарків різною мірою збагачених на мафічні мінерали. Кумулятивна шаруватість може підкреслюватися план-паралельною текстурою з орієнтуванням таблиць плагіоклазу, скупчень мафічних мінералів, а також призматичних кристалів апатиту. Ільменіт та магнетит в титаноносних габроїдах у більшості випадків зазнають субсолідусного розпаду з утворенням специфічних ґраткових та

пластинчастих структур проростання. Так, згідно з [12], в титаномагнетитах Федорівської інтрузії ексолюційні вклучення можуть бути представлені ільменітом, шпінеллю та ульвошпінеллю. Це потрібно враховувати при інтерпретації даних мінеральної термометрії [4], що часто дає "немагматичні" температури для ільменіт-магнетитової пари.

Хімічний склад плагіоклазів титаноносних габроїдів характеризується зниженою основністю – окрім звичайного для габроїдів лабрадору, широко розповсюджений андезин. Окремі габроїдні тіла можуть значно відрізнятися основністю плагіоклазів, як це видно на прикладі Стремигородської та Федорівської інтрузій. Серед піроксенів титаноносних габроїдів найбільш розповсюджені авгіти з помірним вмістом TiO_2 та Al_2O_3 і підвищеним вмістом CaO . Склад низькокальцієвих піроксенів вивчений недостатньо внаслідок їх меншої розповсюдженості. Однак, в цілому можна говорити про присутність гіперстенів і піжонітів в окремих інтрузіях. В найбільш вивчених титаноносних інтрузіях встановлена прихована розшарованість, що виражається в закономірній зміні хімічного складу окремих мінералів по розрізу інтрузії. Так, в розрізі Федорівської інтрузії встановлено наявність чотирьох горизонтів, у межах кожного спостерігається ритмічна зміна основності плагіоклазу і магнезійності мафічних мінералів [16]. Прихована розшарованість Федорівської інтрузії додатково підтверджується даними [6] про хімічний склад ільменітів та титаномагнетитів. Встановлено наявність трьох ритмів із закономірними варіаціями вмісту TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO та V_2O_5 в співіснуючих ільменітах та титаномагнетитах.

Хімічний склад титаноносних габроїдів повністю визначається особливостями мінерального складу. Вміст SiO_2 знижений відносно середнього для габроїдів і часто формально відповідає ультраосновним породам, що визначається високим вмістом несилікатних мінералів. Підвищена сумарна лужність пов'язана з помірною основністю плагіоклазу, а також присутністю калішпату та біотиту. Загальна меланократовість порід, а також підвищений вміст ільменіту, титаномагнетиту та апатиту, обумовлюють аномальні концентрації TiO_2 , FeO , P_2O_5 . Висока сумарна залізистість $FeO/FeO+MgO$ пов'язана з високим вмістом $Fe-Ti$ оксидів, а також з підвищеною залізистістю $Fe-Mg$ силікатів.

Титаноносні інтрузії комплексу Рогаланд (Норвегія). Протерозойський анортозитовий комплекс Рогаланд розміщений у південній частині Норвегії на узбережжі Північного моря [14, 15]. Комплекс Рогаланд включає три крупні анортозитові масиви, розшаровану титаноносну інтрузію Бжеркрейм-Сокендал, декілька лейконоритових масивів, а також низку більш дрібних дайкових тіл, складених титаноносними габроїдами та йотунітами (піроксеновими монцодіоритами). До складу комплексу також відносять суміжні масиви чарнокітів. Комплекс Рогаланд залягає в південно-західній частині Свеконорвезького орогенічного поясу, що сформувався під час орогенічних подій 1250-900 млн р тому. Вміщуючі породи представлені гнейсами та кристалосланцями гранулітової фації. Ізотопний вік вкорінення комплексу Рогаланд складає 930-920 млн років. На відміну від анортозитових порід України, норвезькі габро-анортозитові масиви зазнали значних деформацій та розсланцювання, особливо в крайових ендоконтактових частинах. В окремих випадках анортозити Рогаланда зберігають інтрузивний характер контактів і первинно-магматичні мегакристові субофітові структури. Комплекс Рогаланд вміщує магматогенні титанові руди трьох типів: 1) бідні вкрплені руди в розшарованих габроїдах інтрузії Бжеркрейм-Сокендал; 2) густо-

вкраплені руди титаносних габроїдних дайок; 3) масивні руди в крайових частинах анортозитових масивів. Титаносна інтрузія Бжеркрейм-Сокендал має форму лополіта, загальною площею 230 км², при вертикальній потужності 7 км. Інтрузія складена андезиновими анортозитами, троктолітами, норитами, габро-норитами, йотунітами, мангеритами та чарнокітами. У розрізі інтрузії виділяють чотири базитові горизонти – мегацикли, потужністю 1-2 км. Титаносними є лейконорити та норити, що залягають у середній частині інтрузії, і вміщують бідну вкрапленість ільменіту. Разом із мегарозшарованістю, титаносні габроїди інтрузії Бжеркрейм-Сокендал характеризуються макророзшарованістю метрового і сантиметрового масштабу. Добре вивчено також крипторозшарованість титаносних габроїдів, що проявлена в закономірній зміні хімічного складу породоутворюючих мінералів у розрізі інтрузії Бжеркрейм-Сокендал [15]. На відміну від Бжеркрейм-Сокендал, синкінематичні титаносні інтрузії Теллнес та Сторгенджен мають менші розміри – 400*2700 м та 50*4000 м відповідно, характеризуються дайкоподібною формою залягання і вміщують густо-вкраплені руди, що представлені титаносними норитами. Інтрузії Теллнес та Сторгенджен проривають анортозити масиву Ана-С'єра. Численні дайки титаносних норитів та йотунітів інтродують інші габро-анортозитові масиви. Окрім вкраплених руд, габро-анортозитовий комплекс Роголанда вміщує сидеронітові (40-70 % ільменіту), а також масивні (більше 70 % ільменіту) руди нельсонітового типу, прикладом яких є руди родовища Кідландсватен, розташованого в приконтатовій частині габро-анортозитових масивів Егерсунд-Огна та Хеленд-Хеллерен. Деформовані пластовидні та лінзоподібні прошарки суцільного гемойльменіту потужністю до 20 см чергуються з прошарками анортозитів та лейконоритів з вкрапленням ільменітовим зруденінням.

Титаносні інтрузії комплексу Хавер-Сент-П'єр (Канада). Анортозитовий комплекс Хавер-Сент-П'єр знаходиться на північно-східному узбережжі Канади, штат Квебек [13, 17, 19]. Комплекс складений кількома габро-анортозитовими масивами, розмежованими полями чарнокітів та мангеритів. Анортозитові масиви, крім власне анортозитів, містять лейконорити, норити, габро та йотуніти. Структурно-тектонічний стан анортозитових масивів варіює від недеформованих та слабодеформованих анортозитових порід до сильно деформованих та рекристалізованих анортозитових кристалосланців. Багатофазне вкорінення комплексу ускладнюється насувами окремих анортозитових масивів на інші, а також на вміщуючі породи. Ізотопний вік вкорінення складає 1130-1062 млн р. Рамою для інтрузій комплексу Хавер-Сент-П'єр слугують гнейси, кристалосланці та мігматити Гренвільського орогенічного гранулітового поясу, з віком регіонального метаморфізму 1100-1000 млрд р. Комплекс Хавер-Сент-П'єр містить титанове зруденіння трьох типів: 1) вкраплені титаномagnetит-ільменітові руди в йотунітах; 2) масивні та вкраплені ільменітові руди в лейконоритах; 3) масивні ільменітові руди в анортозитах [19]. Диференційовані інтрузії титаносних йотунітів з вкрапленими апатит-титаномagnetит-ільменітовими рудами вкорінені вздовж контакту анортозитових масивів Лак-Алард та Рів'єра-Ромені з оточуючими мангеритами. Форма інтрузій змінюється від дайкоподібною до лінзо- та силіпоподібною, з горизонтальними розмірами 1-3 км, при потужностях 100-300 м. В окремих тілах добре проявлена первинна магматична розшарованість різного масштабу. Середньо- та густовкраплене зруденіння звичайно тяжіє до донних частин інтрузій. Дайкоподібні інтрузії титанос-

них лейконоритів проривають анортозити масиву Рів'єра-еу-Тонері. Лейконоритові дайки вкорінені згідно площин розсланцювання у вміщуючих анортозитах. Сингенетичне вкраплене ільменітове зруденіння в окремих дайках супроводжується жилами та лінзами масивних ільменітових руд, потужністю 10-60 см. Окремі жильні тіла пересікають контакт лейконоритів з вміщуючими анортозитами. Родовище світового класу Лак-Тіо являє найбільш яскравий приклад масивних ільменітових руд в анортозитах. Це пластовидний поклад потужністю більше 60 м з горизонтальними розмірами 1097*1036 м, який похило залягає в андезинових анортозитах масиву Лак-Алард, тяжючи до його південно-східної межі [17]. Масивні гемойльменітові руди з вмістом ільменіту до 75 % містять підлеглі прошарки анортозитів.

Висновки.

1. Титаносні базитові інтрузії коростенського комплексу Українського щита, комплексу Роголанд Балтійського щита та комплексу Хавер-Сент-П'єр на Канадському щиті відносяться до різних формаційних типів. Інтрузії коростенського комплексу належать до анортозит-рапаківігранітної формації (АРГФ). Інтрузії комплексу Роголанд та Хавер-Сент-П'єр до анортозит-мангерит-чарнокітової формації (АМЧФ).

2. Становлення субплатформених інтрузій АРГФ та орогенних інтрузій АМЧФ відбувалося в суттєво різних геодинамічних умовах, що визначило різницю у характері локалізації, формах залягання, структурно-текстурних особливостях і речовинному складі титанових руд.

3. На відміну від норвезьких та канадських синкінематичних інтрузій титаносних норитів та йотунітів, титаносні інтрузії коростенського комплексу залягають у вигляді первинно-розшарованих недеформованих тіл, складених олівіновими габро і троктолітами, що містять лише бідні та середньо-вкраплені ільменітові руди.

4. Крупномасштабні високотемпературні деформації, які мали місце під час вкорінення АМЧФ комплексів, сприяли ефективному збагаченню найбільш мобільних приконтатових частин базитових інтрузій Fe-Ti оксидними мінералами аж до утворення суцільних руд.

5. Головним механізмом концентрації Fe-Ti оксидних мінералів у базитах коростенського комплексу потрібно визнати кристалізаційну диференціацію, менш повно проявлену порівняно з розшарованою інтрузією Бжеркрейм-Сокендал.

6. Подальше дослідження титаносних інтрузій коростенського комплексу слід сконцентрувати на вивченні прихованої розшарованості і типоморфних особливостей породоутворюючих мінералів.

1. Богатиков О.А. Анортозиты. - М., 1979.
2. Борисенко Л.Ф., Делицын Л.М., Проскурин Г.П., Крупенькина Н.С. Рудные габброиды Чеповичского анортозитового массива (Украинский щит) // Геология рудных месторождений. - 1979. - №4. - С. 16-27.
3. Кривдик С.Г., Ткачук В.И. Петрология щелочных пород Украинского щита // АН УССР. Ин-т геохимии и физики минералов. - К., 1990.
4. Кудинова Л.А., Металлиди С.В. Титаносные массивы габброанортозитов. - М., 1987.
5. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1: Металлические полезные ископаемые / Д.С. Гурский, К.Е. Есипчук, В.И. Калинин и др. - Киев-Львов, 2005.
6. Митрохин А.В., Митрохина Т.В. Петрология и рудоносность Федоровского апатит-ильменитового месторождения // Мин. журн. - 2006. - Т. 28. - № 4. - С. 43-52.
7. Митрохин О.В., Митрохина Т.В. Титаносні габроїди Пенізевицького рудопрояву ільменіту (Волинський мегаблок УЩ) // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. - 2007. - Вип. 40. - С. 18-20.
8. Митрохина Т.В., Митрохин А.В. Титаносные интрузии субщелочных габброидов Волинского мегаблока Украинского щита // Щелочной магматизм Земли и его рудоносность: Матер. междунар. совещ., Донецк, 10-16 сент. 2007 г. - К., 2007. - С. 182-185.
9. Проскурин Г.П. Объемная зональность апатит-ильменитового оруденения в габброидах Коростенского плутона // Вертикальная зональность магматогенных рудных месторождений. - М., 1984. - С. 44-67.
10. Тарасенко В.С. Богатые титановые руды в габбро-анортозитовых массивах Украинского щита // Изв. АН СССР. - 1990. - № 8. - С. 35-44.
11. Тарасенко В.С. Минерально-сырьевая база титановых руд на Украине // Геол. журн. - 1992. - № 5. - С. 92-103.
12. Шумлянський Л.В., Дю-

шен Ж.К. Рудні мінерали Федорівського родовища фосфору та титану // Наук. праці ІФД. - 2005. - Вип. 9. - С. 65-83. 13. Ashwal L.D. Anorthosites. - Springer-Verlag Pub. Comp. - 1993. 14. Duchesne J.C. Fe-Ti deposits in Rogaland anorthosites (South Norway): geochemical characteristics and problems of interpretation // Mineralium Deposita. - 1999. - V. 34. - P. 182-198. 15. Duchesne J.C. The Rogaland intrusive massifs, an excursion guide // NGU report 2001.29: Geological survey of Norway. -Trondheim, 2001. 16. Duchesne J.C., Shumlyansky L.V., Charlier B. The Fedorivka layered intrusion (Korosten Pluton, Ukraine): An example of highly differentiated ferrobasaltic evolution // Lithos. - 2006. - V. 89. - P. 353-376. 17. Force E.R. Geology of Titanium-Mineral Deposits // Special paper. Geological Society of America; 259. - 1991. 18. Gursky D., Nechaev S., Bobrov A. Titanium de-

posits in Ukraine focused on the Proterozoic anorthosite-hosted massifs // Ilmenite deposits and their geological environment : Special Publication of NGU. - Trondheim, 2003. - N 9. - P. 21-26. 19. Perreault S. Contrasting styles of Fe-Ti mineralization in the Havre-Saint-Pierre anorthosite suite, Quebec North Shore, Canada // GEODE field workshop 8-12th July 2001 on ilmenite deposits in the Rogaland anorthosite province, S. Norway: Abstracts. - P. 114-119. 20. United States Bureau of Mines, 1986, Domestic consumption trends, 1972-82, and forecasts to 1993 for twelve major metals: U.S. Bureau of Mines Open-File Report 27-86. - 1986.

Надійшла до редколегії 18.09.09

УДК 550.41

Д. Марченков, асп.

ГЕОХІМІЯ ПРОЦЕСУ ГРАНІТИЗАЦІЇ ЛИПНЯЗЬКОЇ ГРАНІТО-ГНЕЙСОВОЇ СТРУКТУРИ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)

Проаналізовано серію зразків, що характеризують речовинну зональність Липнязької граніто-гнейсової структури. На основі отриманих даних зроблено висновки щодо міграції хімічних компонентів в її межах. Підтверджено припущення про утворення порід центральної частини ядра за рахунок рівноважного часткового плавлення порід зовнішньої частини ядра структури.

Series of samples had been analyzed. They define structural-substantial zoning of Lypnyajka granite-gneiss structure. Findings allow to make interferences about bringing in and carrying out some elements from structure core to its outskirts. Assumption about formation of some rocks from the central part of structure core following to rocks equilibrium partial melting of the structure core outskirts is verified.

Вступ. Серед областей розвинення докембрійських утворень, до яких належить й Український щит, значні об'єми купольних та моноклінальних структур складені порфіробластичними мігматитами і граніто-гнейсами, а також порфіровидними гранітоїдами. Головною їх структурно-текстурною особливістю є розвиток орієнтованих мегакристалів калієвого польового шпату (КПШ) в ядрових частинах об'єктів. Генезис породних різновидів таких структур є остаточно невизначеним і потребує детального дослідження. В межах УЩ одним з яскравих прикладів таких утворень є Липнязька граніто-гнейсова структура (ЛГГС).

Аналіз попередніх досліджень, постановка проблеми. Незважаючи на значний обсяг геологічних робіт, які проводились в межах ЛГГС, на сьогоднішній день немає чіткої інтерпретації щодо її геологічної будови. Свідченням цьому є її різні трактування: наприклад, у [7] в межах масиву виділяється ряд антикліналей та синкліналей; в [13, 4] дослідники розглядають її, як гранітоїдний купол; в [5] ЛГГС описана як граніт-мігматитовий масив; в [2] ЛГГС розглядається як зональний масив із моноклінальною будовою.

Дискусійними є також питання щодо стратиграфії регіону. Згідно з [3], різні за складом гнейси відносяться до кам'яно-костоватської та рошачівської світ Інгуло-Інгулецької серії раннього протерозою. Проте ряд дослідників, такі як В.П. Кирилюк [6], І.М. Беліченко [1] та ін., вважають їх віковими аналогами порід архейського фундаменту, регресивно метаморфізованими в ранньому протерозої, а плагіограніти умовно відносять до Інгульського ультраметаморфічного комплексу середнього архею.

В останні роки ЛГГС детально досліджувалась з позицій тектоно-структурного аналізу та в петрографічному відношенні [2, 9, 10]. На основі цих досліджень виділяється *плагіогнейсова рама*, представлена породами кам'янокостоватської, рошачівської світ раннього протерозою та утвореннями тетіївського комплексу середнього архею, *мігматитова кайма* та *граніто-гнейсове ядро з апліт-пегматоїдними утвореннями та пегматитами* [11]. Разом з тим, структура недостатньо вивчалась в геохімічному відношенні, зок-

рема остаточно невизначеним є механізм утворення породних різновидів ядра ЛГГС.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є дослідження міграції елементів в межах ЛГГС, зокрема моделювання часткового плавлення порід ядрової частини структури, з метою подальшого з'ясування механізмів утворення її породних різновидів.

Виклад основного матеріалу. В адміністративному відношенні ЛГГС розташована в межах Добровеличківського району Кіровоградської області, південніше с. Липняжка. Згідно з існуючим геолого-структурним районуванням кристалічного фундаменту УЩ, ЛГГС знаходиться в центральній частині Братської структурно-формаційної підзони Інгуло-Інгулецької структурно-формаційної зони [11]. Липнязький граніт-мігматитовий масив просторово співпадає з Новолутковським блоком, структурно - із замковою частиною Михайлівської антиклінали. Масив протяжністю 20 км та шириною 7 км на заході обмежений Гнатівською гілкою Марківського глибинного розлому, на півночі - Західно-Липнязьким розломом, а на сході і півдні Добровеличківським та Новомиколаївським розломами другого порядку [12, 3].

Дослідження, проведені в межах Липнязької граніто-гнейсової структури, показують, що вона характеризується зональною будовою як в речовинному, так і в структурному аспекті. Структурна зональність виражена незгідним заляганням директивних текстур порід субстрату до власне порфіробластичної сланцюватості граніто-гнейсів. Речовинно-метаморфічна зональність позначається поступовими переходами від кристалічних утворень рами, які виконують роль субстрату, до однорідних у значних об'ємах, зазвичай виразно сланцюватих, порфіробластичних граніто-гнейсів. Формування вище зазначеної структурно-речовинної зональності можливе завдяки тісному взаємозв'язку метасоматичних та деформаційних процесів [8].

Для досліджень були відібрані зразки, які репрезентативно характеризують плагіогнейсову раму та зовнішню і внутрішню частини граніто-гнейсового ядра з апліт-пегматоїдними утвореннями.

Гнейсова рама структури представлена амфіболітовими утвореннями, а також широко розповсюдженими