

Поряд з вищеприписаною латеральною рудностадіальною зональністю Донбасу, що має загальні причини з постдіагенетичними змінами порід, існує також вертикальна мінералогічна зональність на окремих родовищах і структурах, де зі зміною стадій трансформації вміщуючих порід змінюється склад і характер мінералізації [3, 10, 11]. Так, на Бобриківському золото-поліметалічному родовищі в породах світ C_1^3 - C_1^4 , що знаходяться в зоні пізнього метагенезу (нижній рудний ярус), широко представлений високотемпературний (250-400°C) жильний золото-галеніт-сфалеритовий тип мінералізації. В породах світ C_2^0 - C_2^1 верхнього рудного ярусу (стадія раннього метагенезу) розповсюджена золото-срібно-сульфосольно-поліметалічна мінералізація вкраплено-прожилкового типу з температурою утворення 250-150°C. Аналогічний мінеральний парагенезис зустрічається в породах раннього метагенезу на Єсаулівсько-Нагольчанському рудному вузлі.

На Микитівському рудному полі кварц-антимоніт-кіноварна мінералізація глибинних горизонтів змінюється дикіт-реальгар-кіноварною на верхніх ярусах.

В межах Дружківсько-Костянтинівської антиклінали нижні горизонти рудопроявів представлені кварц-дикіт-кіноварним мінеральним типом (Куртівський, Костянтинівський рудопрояви), який на верхніх горизонтах змінюється кальцит-бітум-кіноварним (Суровський). Паралельно зі зміною мінеральних асоціацій міняється склад і характер навколорудних змін вміщуючих порід.

Висновки. В межах Донецького басейну з північного заходу на південний схід і від північних і південних окраїн до центру спостерігається закономірний розподіл рудних асоціацій і вуглеводнів, збільшення ступеня метаморфізму вугілля і регіонального літогенезу вміщуючих порід. Направлена зміна цих геологічних явищ має загальну причину – поступовий розвиток процесів постдіагенетичних змін осадових товщ.

Еволюційний розвиток літогенетичних процесів проходив при збільшенні температури і тиску, що, в свою

чергу, привело до переходу в рухомий стан все більшого числа рудоутворюючих компонентів, які в сприятливих умовах формували відповідні мінеральні парагенезиси. Утворення рудної мінералізації проходило із гідротермальних розчинів сульфідно-хлоридно-гідроксидного типу метаморфічного походження близької компонентної спеціалізації (Zn, Pb, Fe, As, Cu, Au, Ag) в досить прогрітому вміщуючому середовищі. Температура вміщуючих порід і температура утворення мінералів із розчинів були досить близькими, внаслідок чого повсюди на родовищах зустрічається крупнозерниста будова жил і слабкий розвиток навколоруднозмінених порід. Характер мінералізації і морфологічні типи рудних покладів обумовлені фізико-механічними властивостями вміщуючих порід (міцність, пористість), які змінюються паралельно з літогенетичними змінами від стратиформної до прожилково-вкрапленої і жильної.

1. Курило М.В. Рудно-углеводородная зональность и стадийные изменения вмещающих пород Донбасса // Литология и полезные ископаемые. – 1994. – № 5. – С. 127-132. 2. Курило М.В. До характеристики процесів катагенетичного рудоутворення // Вісник Київського університету. Геологія. – 2003. – № 25. – С. 26-27. 3. Курило М.В. Стадійні зміни порід і мінералогія ртутних руд Донбасу // Вісник Київського університету. Геологія. – 2005. – № 33. – С. 30-33. 4. Курило М.В. Типізація стадій літогенезу та рудоутворення // Вісник Київського університету. Геологія. – 2006. – № 37. – С. 15-18. 5. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Груба В.И. Мінералогія Донецького басейну. – К., 1975. – Ч.1. 6. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Павлишин В.И. Мінералогія Донецького басейну – К., 1975. – Ч.1. 7. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образовання і змінення осадових порід на континенті і в океані. – Л., 1987. 8. Мурич А.Т., Резников А.И., Абрамевич Э.В., Сердюков В.В. Результати глибокого бурення в центральній частині Донбасу // Советская геология. – 1975. – № 8. – С. 125-131. 9. Смирнов В.И. Геологія корисних копалин. – К., 1995. 10. Шумлянський В.А., Деміхов Ю.Н., Деревська Е.И. та ін. Геолого-генетическая модель Бобриковского золото-поліметалічного месторождения // Геологический журнал. – 1994. – № 3. – С. 95-106. 11. Шумлянський В.О., Деревська К.І., Дудар Т.В. та ін. Літогенез і гіпогенне рудоутворення в осадових товщах України. – К., 2003. 12. Щербань І.П., Копылова Л.В., Шевченко В.И. Околорудные метасоматиты континентальных рифтогенных структур. – М., 1985.

Надійшла до редколегії 29.09.08

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 544.03+551.24

М. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук,
Л. Кузів, асп., Н. Костенко, канд. геол. наук

ПЕТРОФІЗИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНІТОЇДІВ З МЕТОЮ ВИБОРУ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЗАХОРОНЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ У МЕЖАХ ВОЛИНСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА (УЩ)

Питання захоронення радіоактивних відходів (РАВ) всебічно вивчається багатьма дослідниками. Тому оцінка петрофізичної придатності гірських порід для довготривалого розміщення в них РАВ має важливе значення. Цьому питання досі ще не приділялося особливої уваги. Враховуючи, що безпосереднє розміщення РАВ в районі наближення до Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) носить першочерговий характер в зв'язку з природоохоронними заходами, а також, що одним з перспективних об'єктів для захоронення РАВ вважаються гранітоїди, в статті наводиться ряд найбільш важливих фізичних характеристик оцінки придатності для захоронення РАВ в провідних петролітах гранітоїдів Волинського блоку УЩ.

The question of the disposal of the radioactive waste has been studied by a number of researchers. Therefore the estimation of petrophysical suitability of some host rock, which concern the repository of the radioactive waste is very useful. This problem was not under the question before. Taking into account that the direct radioactive waste location nearly the Chornobyl atomic station has paramount value and that granitoids are believed as perspective for radioactive waste repository, this paper describes the most important physical characteristics of penetrability the major granitoids types of the Volyn region of the Ukrainian Shield.

Вступ. З другої половини ХХ ст, у зв'язку з розвитком ядерних технологій і особливо ядерної енергетики, все більшої гостроти набуває питання захоронення відходів ядерної промисловості, зокрема ядерного палива. Його висока і небезпечна радіоактивність, значний час існування (для деяких елементів – U, Th, Pu і продуктів їх розпаду час існування співставлений з віком планети) створюють великі труднощі у вирішенні цієї проблеми. Цілий ряд держав, фахівців з різних галузей науки і ви-

робництва, напружено займаються цією проблемою під координацією міжнародного органу – МАГАТЕ та відповідних державних організацій.

Значні зусилля з цієї проблеми робляться і в Україні Міністерством надзвичайних ситуацій (МНС), НАН України і низкою інших установ.

Особливого значення в Україні ця проблема набула в зв'язку з аварією на ЧАЕС, а також із затвердженням стратегії розвитку атомної енергетики та її здійснення в умовах

скорочення вивезення РАВ за межі країни. Тому все більш важливими в країні стають дослідження по створенню в її межах власних сховищ. У зв'язку з цим МНС було розроблено спеціальну науково-практичну програму, до якої були залучені кваліфіковані фахівці Інституту геологічних наук НАН України (академік В.М. Шестопалов і створений ним Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних полігонних досліджень), Державної геологічної служби України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка та інших організацій.

В рамках цієї програми, спираючись на власні розробки і міжнародний досвід, виконуються комплексні дослідження, які охоплюють велику кількість досить складних питань. Вони включають вибір об'єктів, придатних для створення сховищ, питання їх конструкції, технології використання, розробки заходів ізоляції та інше, а також прогнозних оцінок безпечного їх існування та контролю.

Для вибору об'єктів розміщення РАВ прийнята рекомендація [3], згідно з якою найбільш придатними для їх захоронення вважають гранітоїди, що за своїм складом є, по-перше, найбільш наближеними до довговічних радіонуклідів РАВ, а також широко поширені в кристалічних утвореннях з досить щільною структурою.

Мета статті полягає у розгляді петрофізичних характеристик провідних петротипів гранітоїдних утворень Волинського мегаблоку і їх геодинамічних показників формування для виявлення найбільш придатних петротипів (комплексів) для виконання відповідних оцінок при виборі об'єктів захоронення РАВ.

Публікації у контексті питань петрофізичної оцінки гранітоїдів у зв'язку з вибором об'єктів для захоронення, узагальнюючі огляди останніх досліджень, здебільшого відсутні.

Об'єкти дослідження. Волинський мегаблок, на території якого власне знаходиться ЧАЕС, на півночі обмежується Прип'ятським прогином (широким відгалуженням Дніпровсько-Донецької западини), на заході – Волино-Подільською плитою, а з півдня і сходу – Андрушівським та Брусилівськими розломами. Цей мегаблок розглядається як зона тектоно-магматичної активізації (ТМА) [9], що утворилась в результаті колізії Феноскандійського та Сарматського сегментів Східно-Європейської платформи. Згідно з М.П. Щербаком та ін. [7], в період з 2,08-1,74 млрд р в межах мегаблоку були проявлені дві фази магматичної активізації. Під час останньої фази (1,8-1,74 млрд р), за даними цих авторів, відбулась колізія Сарматського і Феноскандійського терейнів. Після цього Волинський мегаблок перетворився у стабільну платформу.

Перша фаза ТМА представлена гранітоїдами житомирського комплексу, що за своїм складом наближені до сублужних. Їх вік складає 2,08-1,99 млрд р (за ізотопним датуванням [7]). Букинський, осницький, жишинський комплекси дещо молодші за житомирський.

До другої фази ТМА Волинського мегаблоку відносяться гранітоїди коростенського та пержанського комплексів з ізотопним віком 1,77-1,76 млрд р [7].

Нижче наводиться стисла характеристика згаданих вище гранітоїдних комплексів.

Житомирський комплекс об'єднує рівномірнозернисті, зрідка порфіроподібні граніти, що поширені у південній частині району в середній течії р. Тетерів, у межах субширотної перехідної зони між Волинським та Подільським мегаблоками. Граніти утворюють окремі невеликі штокоподібні тіла в антиклінальних структурах, а також більші за розміром масиви (коростишівський, корнинський, житомирський). До складу комплексу, крім того, включають тіла біотитових гранітів і гранодіоритів.

Масиви житомирських гранітів мають неоднорідну будову [9]. Типовою для них є зональність: в центрі сірі порфіроподібні граніти, а ближче до периферії – сірі рівномірнозернисті двослюдяні граніти, на периферії –

рожеві апліто-пегматоїдні граніти. Відмічають випадки і прямо протилежної зональності – локалізацію порфіроподібних гранітів на периферії масивів, а також смугастоподібне їх чергування.

Масиви гранітів житомирського типу поширені у межах Новоград-Волинського блоку. Найбільш крупні масиви – Коростишівський, Кам'янобродський та Федорівський – мають розміри 100-300 км². Площа інших масивів (Курчицького, Житомирського, Кочеровського) не перевищує 20 км².

Всі петротипи гранітів житомирського комплексу належать до нормальних за хімічним складом і різноманітних за структурно-текстурними особливостями групи порід – основна маса різновидів середньозерниста, текстурні особливості являють собою масивні та гнейсоподібні відміни. Мікроструктура порід гіпідоморфнозерниста, алотріоморфнозерниста або гранобластова [7].

Букинський комплекс. Гранітоїди комплексу складають однойменний плутон у зоні стику Волинського та Подільського тектонічних блоків, а також ряд дрібних масивів, що контролюються Тетерівською зоною розломів.

Букинський масив, найбільший з-поміж інших, має овальну форму і витягнутий у північно-західному напрямку на 24 км при ширині до 8 км. У розрізі масив має воронкоподібну форму. Масив диференційований. За даними [9] до глибини 1,4 км залягають діорити та габроїди, нижче – монзоніти та монцодіорити, нижче 2 км передбачають наявність шару диференційованих габроїдів. Донна частина складена перидотитами і піроксенітами. Характер контакту масиву інтрузивний, місцями тектонічний. Вважається також, що масив є трьохфазним: початкова фаза – ультрамафіт-мафітова, головна фаза – монзонітоїдна, завершуюча – граніт-гранодіоритова, що включає апліто-пегматоїдні граніти. Поліфазний характер, лополітова форма масиву, сублужний характер порід дозволяють побачити деяку схожість Букинського масиву з Коростенським.

Формування порід букинського комплексу відбувалося в умовах переходу від стиску до розтягу, а становлення інтрузії – в умовах розтягу [7]. Магма, завдяки якій утворився Букинський масив, формувалась на глибині до 30 км [2] і проникала в уже метаморфізовані в умовах амфіболітової і епідот-амфіболітової фацій породи тетерівської серії.

Провідними петротипами комплексу є діорит-чарнокіти, кварцові монцодіорити та гранодіорити Букинського масиву. Мінеральний склад порід досить нестійкий. Одні автори схильні вважати це наслідком високого ступеня диференціації вихідної магми, інші – результатом неповного перемішування внаслідок високої в'язкості магми [9].

Осницький комплекс принципово відрізняється від інших комплексів УЩ тим, що входить до складу вулканоплутонічної асоціації (ВПА) [7]. Склад ВПА можна визначити наступним чином: догранітові породи (діабазові та трахіандезитові порфірити, діоритові ріолітові порфіри, діорити та кварцові діорити вировського типу), інтрузивні утворення (власне осницький комплекс): перша фаза – габро, друга – діорити та кварцові діорити, третя – гранодіорити та граніти, четверта – жильні лейкограніти. У складі комплексу кількісно переважають гранодіорити (55 %) і граніти (30 %).

Осницькі граніти рожеві до червоних, порфіроподібні чи рівномірнозернисті, масивні, крупно- і середньозернисті з характерним бузковим кварцом. Рогова обманка входить до складу гранодіоритів. Для всіх порід характерним є епідот, що заміщує плагіоклаз. За хімічним складом осницькі інтрузивні граніти характеризуються нормальною і підвищеною лужністю, помірною, іноді високою, залізистістю, підвищеною глиноземистістю.

Найбільш крупний масив осницьких гранітоїдів – Рокитнянський, площа якого до 1000 км², також виділяють

Броніславський – до 27 км^2 . Масиви мають складну, грубо-смукасту будову, що обумовлена чергуванням смуг потужністю 100-150 м.

До складу *кишинського комплексу* належать окремі гранітні масиви, що контролюються зонами регіональних глибинних розломів і локалізуються у північно-західній частині Коростенського блоку, – власне Кишинський, який займає площу біля 350 км^2 , Устинівський та Новоград-Волинський [2].

Кишинські граніти рожево-червоні, середньо- до крупнозернистих, місцями порфіровидні, кварц в них світло-сірий зі злегка голубуватим відтінком, часто ідіоморфний [9].

Гранітоїди *коростенського комплексу*, спільно з магматитами основного складу (габро, анортозитами), складають Коростенський плутон, що займає східну частину Волинського мегаблоку. Розріз його кори відноситься до салічного типу і характеризується зниженою (до 38 км) потужністю. У тектонічному відношенні Коростенський плутон співвідноситься з межами Коростенського блоку і має вигляд ізометричного пластовидного тіла.

Коростенський плутон обмежується кільцевою системою скидів, іноді, за геофізичними даними, простежується полого налягання гранітів на вмисні породи із падінням контактової площини в сторону плутону під кутом 30° [9].

Коростенський комплекс складають біотит-амфіболові рапаківи та рапаківіподібні граніти, рівномірно-зернисті та порфіроподібні лейкократові біотитові граніти (лізниківські), граніт-порфіри, апліти та пегматити.

До *пержанського комплексу* належать сублужні середньо- та крупнозернисті порфіроподібні граніти, що

складають масив площею близько 200 км^2 , витягнутий вздовж зони Пержанського розлому [2]. В їх складі виділяють наступні петротипи: граніти пержанські, львівківські, сирницькі, хочинські та апограніти пержанські. Власне пержанські граніти складають центральну частину масиву, північна його частина складена середньо- та крупнозернистими хочинськими гранітами, а південно-західна – середньо- та дрібнозернистими львівківськими гранітами. Сирницькі граніти простягаються у вигляді смуги завширшки 2-10 км уздовж північного контакту Коростенського плутону.

Крім польового, мінералого-петрографічного і петрохімічного дослідження цих петротипів в них вивчався комплекс найбільш важливих фізичних характеристик.

У контексті захоронення РАВ, придатними з точки зору фізичних властивостей порід вважаються [4, 5] наступні їх ознаки: висока щільність (мінеральна, об'ємна густина), велика теплоємність, мала теплопровідність, мала пористість і відповідно мала проникність.

За даними фізичних властивостей петротипів Волинського мегаблоку побудовано ряд діаграм (рис. 1, 2, 3). Аналізуючи їх, можна констатувати наступне: найбільшими величинами об'ємної густини (брались до уваги значення більше 2650 кг/м^3 при максимальному $2735,8 \text{ кг/м}^3$) характеризуються гранодіорити осницького, житомирського та кишинського комплексів (осницький, ясногорський, судилківський, корнинський, олександрівський, мухарівський) і граніти, що представлені наступними петротипами: осницький, житомирський, курчицький, кам'янобродський, федорівський, устинівський, пержанський (рис. 1).

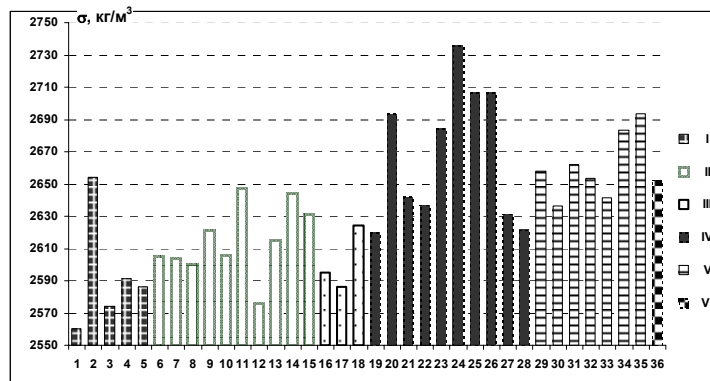


Рис. 1. Діаграма значень об'ємної густини гранітоїдів Волинського мегаблоку.

Примітки: *Пержанський комплекс (I)* –

1. Апограніт пержанський, 2. Граніт пержанський, 3. Граніт львівківський, 4. Граніт сирницький, 5. Граніт хочинський; *Коростенський комплекс (II)* – 6. Граніт острівський, 7. Граніт лізниківський, 8. Граніт рапаківіподібний березівський, 9. Граніт рапаківіподібний емельянівський, 10. Граніт рапаківіподібний розсохівський, 11. Граніт рапаківіподібний потівський, 12. Граніт рапаківіподібний норинський, 13. Граніт рапаківіподібний коростенський, 14. Граніт рапаківі малинський, 15. Граніт рапаківіподібний ігнатпільський; *Кишинський комплекс (III)* – 16. Граніт кишинський, 17. Граніт устинівський, 18. Граніт новоград-волинський; *Осницький комплекс (IV)* – 19. Граніт мухарівський, 20. Гранодіорит мухарівський, 21. Граніт бехівський, 22. Граніт осницький, 23. Гранодіорит осницький, 24. Гранодіорит ясногорський, 25. Гранодіорит судилківський; *Житомирський комплекс (V)* – 26. Гранодіорит корнинський, 27. Граніт коростишівський, 28. Граніт бистрівський, 29. Граніт житомирський, 30. Граніт суслівський, 31. Граніт курчицький, 32. Граніт кам'янобродський, 33. Граніт новороманівський, 34. Граніт федорівський, 35. Гранодіорит олександрівський; *Шереметівський комплекс (VI)* – 36. Гранодіорит березівський

Усі види пористості порід є складною функцією умов утворення [4, 5]. Величина загальної пористості має зростати при формуванні порід в умовах розтягу і зменшуватися при їх утворенні в умовах стиску. Відкрита пористість буде залежати від літостатичного навантаження і може бути використана для оцінки глибини утворення порід. Найменші величини загальної пористості характерні для гранітів житомирських – 0,9 % (при максимальній 3,3 %); відкритої пористості – для гранітів суслівських, федорівських та ігнатпільських – 0,1 % (при максимальній 1,4 %).

При аналізі теплопровідності, найменші її величини спостерігаються (при мінімальному значенні $2,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

та максимальному $3,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ брався до уваги діапазон величин $2,6\text{-}3,0 \text{ Вт/м}^2\text{К}$) у гранодіоритах осницького та кишинського комплексів (ясногорський, судилківський, мухарівський) та у гранітах – бехівських, житомирських, курчицьких, устинівських та гранітах рапаківіподібних норинських. (рис. 2). Теплопровідність гранітоїдів залежить, у першу чергу, від їх мінерального складу, оскільки в гранітоїдах вплив пористості на неї можна вважати неістотним. Пониження теплопровідності може бути викликано розвитком систем крихких порушень, які зменшують кількість міжзернових контактів.

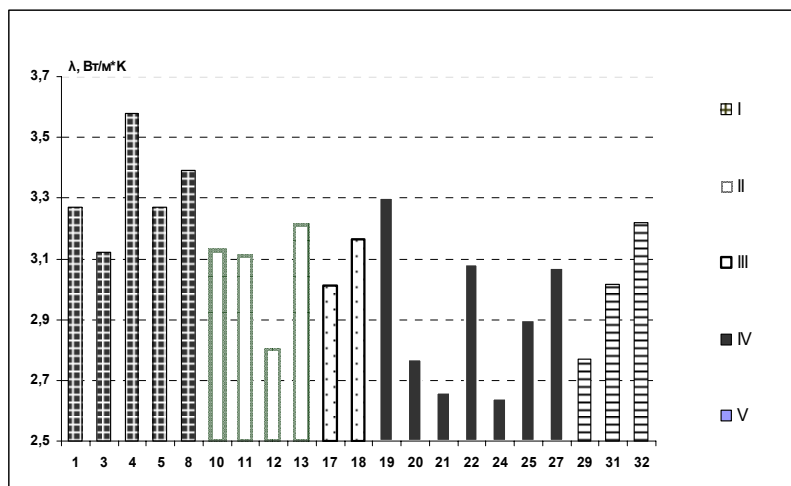
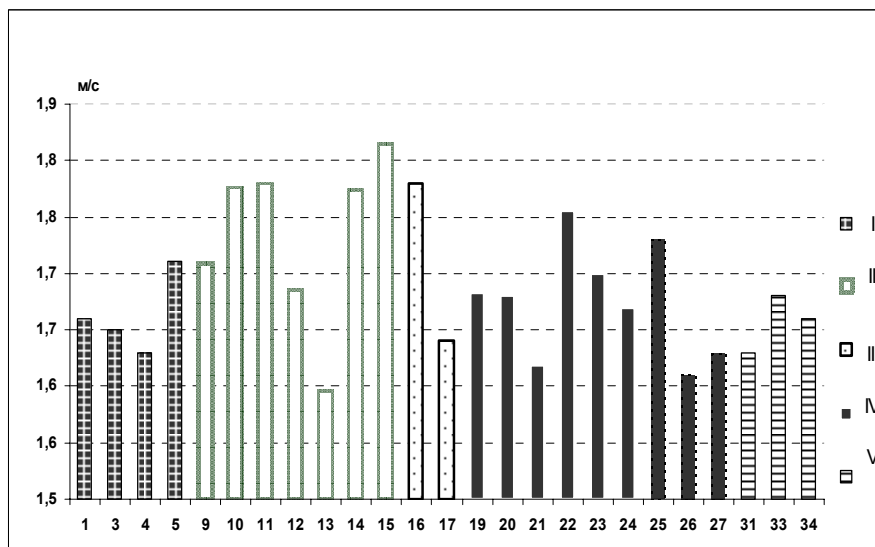


Рис. 2. Діаграма значень теплопровідності гранітоїдів Волинського мегаблоку; примітки див. до Рис. 1

Величини пружних характеристик докембрійських гранітоїдів, у першу чергу швидкості поширення пружних хвиль, виявляють дуже слабку залежність від складу порід і від густини відповідно. Л.І Звягінцев [4] довів, що швидкості розповсюдження пружних хвиль сягають максимальної величини в недеформованих відмінах і зменшуються при деформаціях будь-якого типу (при крихких більш різко). Ним також обґрунтована можливість використання співвідношення V_p/V_s для оцінки характеру деформацій: зростання параметру при пластичних де-

формаціях зумовлено відносно повільним зниженням V_p порівняно з V_s , а його зменшення при крихких деформаціях викликано випереджаючим зменшенням V_p відносно V_s . Швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль (м/с) із значеннями більше 5670 м/с при максимальному 5970 м/с спостерігається у житомирських, фєдорівських, осницьких, коростенських, малинських, ігнатівських, емельянівських, потіївських гранітах та гранодіоритах – осницьких, ясногорських, мухариївських. На діаграмі 3 показано розподіл значень параметру V_p/V_s .

Рис. 3. Діаграма значень параметру V_p/V_s для гранітоїдів Волинського мегаблоку, примітки див. до Рис. 1

Висновки. На основі комплексного аналізу, наведених у статті петрофізичних даних, можна зробити попередні висновки щодо сприятливих характеристик можливого розміщення РАВ у певних петротипах гранітоїдів Волинського мегаблоку.

Серед різних видів гранітоїдних порід Волинського мегаблоку УЩ до таких відносяться граніти, що представлені такими петротипами: житомирський, устинівський, малинський та ігнатівський. На наступних етапах дослідження слід зосередити увагу на характері поширеності петротипів цих гранітів, детальніше розглянути геодинамічні умови формування, також визначити природні умови, в яких вони знаходяться: тектонічні, гідрогеологічні, ступінь їх ізолюваності від техногенного і біогенного впливу тощо.

1. Геохронологическая шкала докембрия / Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н. и др. – К., 1989.
2. Гранитоидные формации Украинского щита / Щербаков И.Б., Есипчук К.Е., Орса В.И. и др. – К., 1984.
3. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения) / Отв. ред. В.М. Шестопалов. – К., 2006.
4. Петрогеохимия і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання / Толстой М.І., Гасанов Ю.Л., Костенко Н.В. та ін. – К., 2003.
5. Толстой М.І., Гожик А.П., Сухорада А.В. Явища петрофізичної фіксації геодинамічних процесів гранітоїдними утвореннями. Винахід №333. – 2007.
6. Петрофізика гранитоидов Украинского щита / Толстой М.И., Чекунов А.В., Щербаков И.Б. и др. – К., 1987.
7. Щербак Н.П., Бибикина Е.В., Скобелев В.М. и др. Эволюция во времени и металлогеническая специализация раннедокембрийской коры Украинского щита // Минерал. журн. – 2003. – 25, №4. – С. 82-92.
8. Щербак Н.П., Пономаренко Д.Н. Возрастная последовательность процессов вулканизма и гранитоидного магматизма Украины // Минерал. журн. – 2000. – 22, №2/3. – С. 12-24.
9. Щербаков И.Б. Петрология Украинского щита. – Львов, 2005.

Надійшла до редколегії 27.09.08