

УДК 550. 93:551. 71/72

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В РАЗІ ПРОГНОЗУВАННЯ РІДКІСНОМЕТАЛЕВОГО ЗРУДЕНІННЯ

Т. Волкова

Донецький національний технічний університет
83000 м. Донецьк, вул. Артема, 58
E-mail: geolog@pop.dgtu.donetsk.ua

На прикладі Азовського родовища, що у Центральному Приазов'ї, розглянуто ознаки рідкіснометалевого зруденіння у всіх металогенічних підрозділах Приазовського блока. Доведено, що рідкісні елементи можуть досягти промислових концентрацій тільки у разі поступового багатоступінчатого нарощування їхнього вмісту. Це узгоджується з умовами найменших енергетичних витрат щодо кристалізації рудних мінералів. Таке становище дає змогу прогнозувати можливість формування промислового накопичення рідкісних елементів на початкових стадіях розшуково-розвідувального процесу.

Ключові слова: рідкіснометалеве зруденіння, Азовське родовище, прогнозування, системні дослідження.

За сучасною концепцією рудні родовища сформувалися внаслідок переходу елементів від початкового розсіяного стану в земній корі і мантії до концентрованого стану в родовищах. Для висококларкових елементів, власні мінерали яких є породоутворювальними, максимальне накопичення в родовищах становить 10–20 кларків і відбувається за один етап. Низькокларкові елементи, навпаки, спроможні створювати дуже високі концентрації (понад сотні кларків), однак упродовж багатьох етапів та з величезними витратами енергії. Можливість виявлення родовища як випадково орієнтованого об'єкта оцінюють імовірністю $6 \cdot 10^{-8}$ [9].

Важливе значення в підвищенні достовірності прогнозування родовищ мали системні геологічні дослідження. Введення принципу системності добре пов'язалося зі стадійністю розшуково-розвідувального процесу, коли об'єктом вивчення поступово ставали щораз локальніші структури всієї геологічної системи.

Головним принципом сучасних методик прогнозно-розшукових робіт, у тім числі й великомасштабних, є виділення й аналіз багаторівневих аномальних геохімічних полів (АГП) [2, 6]. АГП оцінюють на кожному рівні за їхніми розмірами, морфологією, складом, структурою, інтенсивністю прояву, ступенем диференційованості вмісту елементів-індикаторів. Надійність результатів визначена комплексом інформативних геохімічних критеріїв, що розроблені в результаті узагальнення досвіду вивчення багатьох десятків родовищ різноманітних рудно-формаційних типів [6]. У послідовному вивченні металогенічних зон–рудних районів–рудних вузлів–родовищ для виділення найперспективніших площ використовують різноманітні чинники контролю зруденіння. Достовірність прогнозування гарантована лише тоді, коли вдасться виявити закономірності розвитку досліджуваної системи і

зв'язок між окремими елементами її структури. За умов еволюційних перетворень великих блоків земної кори виявляються найтісніші зв'язки між окремими елементами їхньої будови. Кожен металогенічний підрозділ, який є об'єктом прогнозування на визначеній стадії розшуково-розвідувального процесу, одночасно є прогнозним геохімічним фоном для наступного, меншого за рангом [10]. Спадкові геохімічні характеристики попереднього етапу зумовлюють подальше концентрування рудних елементів типоморфного комплексу за умови однонапрямленої еволюції. Підвищення рівня концентрації рудних елементів в ієрархічній структурі геологічній системі забезпечене наявністю постійного енергетичного джерела і стабільністю умов рудоутворення. Так формуються другий і наступні рівні концентрації рудних елементів. Збільшення вмісту рідкісних елементів по рівнях системи у щораз локальніших структурах дає змогу прогнозувати позицію родовища. У цьому випадку точність прогнозування родовища можна значно підвищити завдяки властивості конгруентності імовірності, чого досягають за умов накладення один на один елементів усіх рівнів системи [2]. Ділянки їхнього перекриття максимально сприятливі для локалізації родовищ ендегенного генезису. Проаналізуємо властивості конгруентності за локалізацією нещодавно відкритого у Приазов'ї унікально-го циркон-рідкісноземельного Азовського родовища.

Приазовський блок є східною околицею Українського щита і відділений від сусіднього Середньопридніпровського мегаблока Оріхово-Павлоградською шовною зоною. Площа Приазовського блока становить 19 тис. км². Він належить до давніх кратонів, як і Північно-Західний та Інгудо-Інгулецький блоки Українського щита [3]. Формування кратонів супроводжувалося широким розвитком процесів ультраметаморфізму і гранітизації, формуванням гранітогнейсових куполів і осередкових купольних структур, характерною магматичною зональністю. Геодинамічна позиція Приазовського блока як активної континентальної окраїни зумовила особливості його геологічної будови [5]. Системний аналіз дає змогу виявити ієрархію її структурних елементів. Перший структурний рівень визначений наявністю Західно- та Східноприазовських блоків другого порядку, розділених Центральноприазовською міжблоковою зоною [4]. Міжблокова зона простежена на відстань понад 120 км та фіксована гравітаційним уступом і мінімумами гравітаційного поля. Консолідація західної і східної частин Приазовського блока відбувалася в різний час. Стабілізація західної частини завершилася 2650 млн років тому. Пізніші епохи ендегенної активності тут виявлені формуванням Чернігівської зони розломів, час закладення якої визначено як 2000 ± 50 млн років [5]. Східна частина зазнавала енергетичних впливів під час тектоно-магматичних активізацій Приазовського блока як у рифейський період, так і в герцинську та альпійську епохи. Така ситуація позначилася на розмаїтості формаційних типів і рівнях концентрацій рідкіснометалевих елементів у родовищах і рудопроявах Східноприазовського блока.

Найбільші складчасті структури Приазовського блока сформовані в архейі і мають переважно північно-західне та субмеридіональне простягання. До них належать (із заходу на схід): Корсацький синклінорій, Салтичанський антиклінорій, Мангуський синклінорій, Кальчик-Кальміуський антиклінорій (рис. 1). Для Корсацького синклінорію характерні брахіформні синклінальні складки, в ядрах яких виходять породи сачкінської світи, що містять залізисті кварцити. У центральній частині Салтичанського антиклінорію розташований Слісївський гранітогнейсовий купол, ускладнений Андріївським та Слизаветівським куполами.

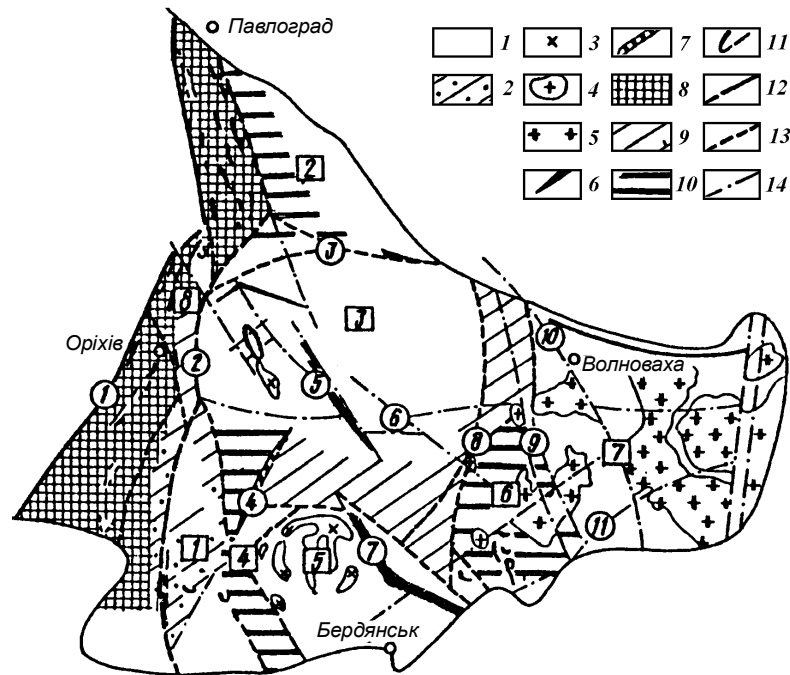


Рис. 1. Схема геологічної будови Приазовського блока, за [5]:

1 – континентальна кора, граніти фундаменту; 2 – суттєво осадові утворення континентального схилу; 3 – гранодіорити і тоналіти; 4 – грейзенізовані граніти кам'яномогильного типу; 5 – граносієніти і лужні граніти; 6, 7 – рифтогенні споруди; 6 – осадово-вулканогенні; 7 – карбонатитів; 8–10 – нерозчленовані комплекси: 8 – континентальних схилів і океанічної кори; 9 – епікратонні басейни і шельфи; 10 – вулканогенно-осадові (базит-чарнокітові); 11 – споруди залізисто-кременистих формацій; 12 – глибинні розломи першого рангу; 13 – розломи другого і третього рангів; 14 – наскрізні розломи. Цифри у квадратах – блоки: 1 – Корсацький; 2 – Волчанський; 3 – Гайчурський; 4 – Лозоватський; 5 – Салтичанський; 6 – Мангуський; 7 – Кальчик-Кальміуський; 8 – Оріхово-Павлоградський. Цифри у кільцях – розломи: 1 – Оріхово-Павлоградський; 2 – Західноприазовський; 3 – група розломів (Тернівський, Покровський, Федорівський); 4 – Чернігівський; 5 – Куйбишевський; 6 – Конкський; 7 – Сорокинський; 8 – спряжені розломи Центральноприазовської зони; 9 – Мануїльський і Малянісольський; 10 – Криворізько-Павлівський; 11 – Кальміуський.

З цими структурами пов'язані родовища й рудопрояви керамічних і рідкіснометалевих пегматитів. У західному облямуванні антиклінорію розташована дугоподібна Чернігівська зона, у якій поширені ультраосновні лужні породи з апатит-рідкіснометалевими карбонатитами. Найзначнішою структурою Східноприазовського блока є Тельманівський плутон. Тут виділено масиви граносієнітів хлібодарівського комплексу – Греково-Олександрівський, Талаківський і Кальміуський. У сінітах Кальміуського масиву розміщені Петрово-Гнутівське родовище, Пищевецький і Павлопільський рудопрояви рідкісних земель. У межах Тельманівського плутону виявлено девонські субвулканічні структури, з якими пов'язане вольфрам-моліб-

денове зруденіння. Мангуський синклінорій структурно асоціює з Центральноприазовською міжблоковою зоною, що розділяє Західно- і Східноприазовський блоки другого порядку. Західна межа синклінорію проходить по сполучених диз'юнктивах Центральноприазовської системи розломів, що має колінчасту будову, і Сорокинської тектонічної зони. Східна межа пролягає по Мануїльському розлому і Малоаянісольській тектонічній зоні, вираженій у розірванні поверхні Мохо й у вертикальному переміщенні блоків на 5–6 км [5]. Тут поширені сублужні лейкократові рідкіснометалеві граніти кам'яногомільного комплексу і породи південнокальчицького комплексу, що утворилися у мезопротерозойську епоху тектономагматичної активізації Українського щита.

Найзначніші структури Мангуського синклінорію представлені інтрузіями центрального типу – Володарською і Кременівською. Масиви формувалися в декілька етапів, очевидно, одночасно, про що свідчить близька еволюція мінерального складу габроїдів і сієнітів [14]. Складені вони породами південнокальчицького комплексу габро-сієнітової формації, утвореної породами дуже диференційованого складу: піроксенітами, олівіновими піроксенітами, сублужними ферогабро, плагіоклазитами, монзонітами, сієнітами, гранітами, кварцовими сієнітами. Становлення більшої частини порід масиву пов'язане з процесами глибинної камерної диференціації. У південній частині Володарського масиву збереглися тіла габроїдів, що відображають першу фазу порід південнокальчицького комплексу. Вони утворені складним чергуванням прошарків габро-сієнітів, верлітів, андезинітів, габро-діоритів і діоритів. Як аноктозити і габро-аноктозити Коростенського і Корсунь-Новомиргородського плутонів, вони зазнали гранітизації-сієнітизації і поєднаної з нею базифікації [13]. Генерація і вкорінення магми сублужного складу супроводжувалися інтенсивним магматичним заміщенням і кремнелужним метасоматозом, у результаті якого андезиніти і габро-андезиніти були заміщені сублужними гранітами і сієнітами. Відбувалася мобілізація і винесення рудних компонентів і наступне формування вкрапленого апатит-титаномagnetит-ільменітового зруденіння у габроїдах.

З південної частини Володарського масиву у північно-західному напрямі в породах простежується поступове збільшення вмісту кремнію, лугів та рідкісних елементів. У північно-західній частині Володарського масиву розташований шток кварцових сієнітів, що належить до четвертої фази; його називають Азовською структурою (рис. 2).

Багатоетапна магматична диференціація забезпечила в цих породах достатньо високий вміст багатьох рудних елементів, особливо рідкісних земель і Zr [1]. Кварцові сієніти Азовської структури – це світлі лейкократові породи, що складаються з лужного польового шпату (70–90 %) , біотиту (10–15 %) , кварцу (10–15 %) з характерною акцесорною асоціацією ільменіту, апатиту, циркону, флюориту, бастнезиту, ортиту. Навколо кварцових сієнітів розташовані меланократові олівін- і кварцовмісні сієніти. Для них характерний нерівномірний розподіл темноколірних мінералів, мінлива зернистість, плямистість забарвлення. Ця мінливість найбільша в екзоконтакті тіла кварцових сієнітів.

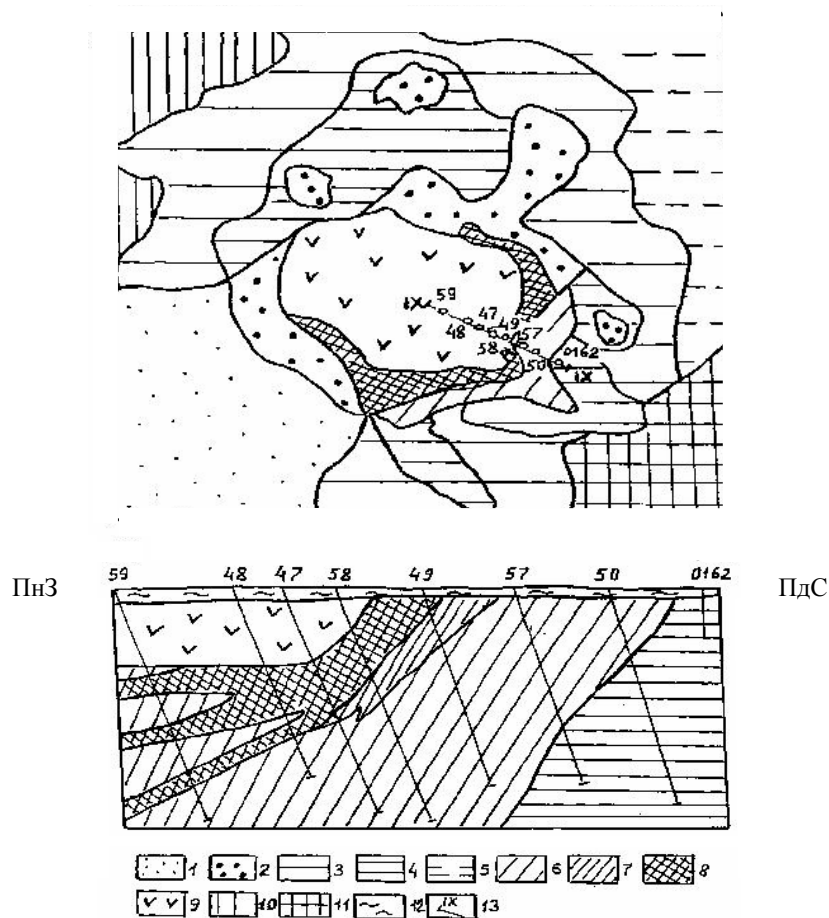


Рис. 2. Схематичний план і розріз Азовського родовища.

Сієніти лужнопольовошпатові олівін-піроксен-амфіболові: 1 – однорідні; 2 – плямисті; сієніти лужноземельні піроксен-амфіболові: 3 – однорідні; 4 – плямисті; 5 – сієніти лужноземельні амфіболові з кварцом; 6 – сієніти такситові нерозчленовані; 7 – сієніти лужнопольовошпатові кварцовмісні; 8 – сієніти лужнопольовошпатові олівін-піроксен-амфіболові рудовмісні з такситовою текстурою; 9 – кварцові сієніти; 10 – біотит-гастингситові сієніти; 11 – сієніти гранітизовані; 12 – мезо-кайнозойські відклади; 13 – лінія розрізу з розвідувальними свердловинами.

Тут розвинуті такситові кварцовмісні амфіболові й олівін-піроксен-амфіболові сієніти. Такситова текстура цих порід зумовлена чергуванням шлірів контрастних за вмістом лужного польового шпату і темноколірних мінералів. Незважаючи на мінливість зовнішнього вигляду, мінеральний склад меланократових сієнітів сталий: лужний польовий шпат (50–85%), геденбергіт, олівін і амфібол. З віддаленням від контакту зі штоком кварцових сієнітів мінливість кольору і зернистості меланократових порід зменшується. Породи такситової текстури переходять у “плямисті” сієніти, потім – в “однорідні”. Мінералогічно це виражене у поступовому послаб-

ленні ролі амфіболу й олівину. Акцесорні мінерали практично однакові для однорідних та плямистих і такситових сієнітів. Вони представлені апатитом, ільменітом, цирконом, ортитом, бритолітом, флюоритом, графітом, зрідка бастнезитом. У такситових сієнітах різко збільшується кількість акцесорних рідкіснометалевих мінералів. У олівін-піроксен-амфіболових сієнітах з'являються зони, в яких вміст циркону, бритоліту, ортиту досягає 0,6 % і більше. Такі ділянки є цирконій-рідкісноземельними рудами, що мають промислове значення. Найпотужніші зони виявлено в південно-східній частині структури, де розташоване Азовське циркон-рідкісноземельне родовище. Основна маса цирконій-рідкісноземельного зруденіння приурочена до такситових різновидів сієнітів. Інші породи екзоконтакту, а також біотитові сієніти ендоконтакту або взагалі не містять промислового зруденіння, або містять лише бідні цирконієві руди (вміст ZrO_2 0,4–0,6 % і менше) [12].

Рудний парагенезис в Азовському родовищі представлений цирконом, бритолітом, ортитом, чевкінітом, ітробритолітом, ітробастнезитом і флюоритом. Визначено декілька генерацій рудних мінералів [8]. Циркон і бритоліт першої, високотемпературної генерації кристалізувалися з розплаву при температурі понад $1100^\circ C$. Про сингенність цих мінералів свідчить їхнє тісне зрощення. Бритоліт цієї генерації містить головно церієві землі. Основна маса циркону Азовського родовища представлена мінералом саме першої генерації. Друга, пізніша генерація циркону поширена значно менше. Бритоліт другої генерації містить високі концентрації ітрієвих земель, особливо Gd і Dy. Їхній вміст порівняно з середнім вмістом у бритоліті першої генерації більший на 70–80 %. Виділено і метасоматичну генерацію мінералів. До неї зачислено пізню генерацію флюориту і циркону дипірамідального габітусу. Особливо яскраво виявлена карбонатна стадія, під час якої сформувалися бастнезит двох генерацій, сидерит і кальцит. У складі псевдоморфоз по бритоліту виявлено бастнезит пізньої генерації разом із рабдофанітом.

Системний аналіз засвідчив, що перший рівень продуктивності Азовського родовища забезпечений багатоетапним процесом магматичної диференціації. Ознакою магматичної природи зруденіння поряд із геолого-петрологічними даними є рівномірний розподіл у сієнітах циркону [8]. Досягнутий рівень концентрації рідкісних елементів у залишковому магматичному розплаві відповідає їхньому вмісту у кварцових сієнітах. Рівня промислових концентрацій досяг лише цирконій (бідні цирконієві руди). Для низькокларкових елементів рідкісних земель одного етапу було недостатньо. Таким рівнем концентрування стала постмагматична стадія, під час якої велика частина мінералів відкладалася з флюїдів (друга генерація рудних мінералів). Бритоліт другої генерації кристалізувався з флюїду на геохімічному бар'єрі, представленому олівіновмісними сієнітами. Це пояснює просторову роз'єднаність рідкісноземельного і цирконієвого зруденіння, приуроченого до першого магматичного етапу [12]. Останній етап концентрування рудних елементів в Азовському родовищі припав на метасоматичну стадію перетворення порід. До цієї генерації рідкісноземельних мінералів належить бастнезит. Метасоматичні перетворення, виражені процесами мікроклінізації і прожилкової карбонатизації, виявив під час польових досліджень В.В. Васильченко у всіх породах Південнокальчицького рудного вузла. Ділянки найінтенсивнішого метасоматичного перетворення з високим вмістом ітрієвих земель відшукані в Кременівському масиві на рудопроявах урочища Сторожового. У рідкісноземельних мінералах Азовського родовища вміст церієвих земель значно вищий, ніж ітрієвих. Для ітрієвих особливо характер-

не концентрування на стадіях метасоматичного перетворення порід [11]. Такситова текстура, високі коефіцієнти варіації рудних елементів, визначені на Азовському родовищі [1], також властиві породам метасоматичного генезису. Отже, рідкісно-земельні руди Азовського родовища формувалися протягом трьох етапів.

Відповідно до синергетичної теорії, багатоетапне рудоконцентрування не є випадковим. Воно підпорядковане фундаментальним принципам самоорганізації живої і неживої матерії, оскільки є вигіднішим щодо витрат енергії. Функціонування рудоконцентрувальних систем визначене тривалим надходженням енергії з зовнішнього середовища. У цьому разі підвищується ентропія і рівень структурної організації системи як завдяки зовнішній енергії, так і внаслідок необоротних процесів усередині рудогенної системи [7]. Східчастий механізм багаторівневої концентрації рудної речовини незмінно виявляється у формуванні родовищ будь-яких корисних копалин. Кількість рівнів концентрації залежить від кількості етапів енергетичних впливів на цю систему, а кратність збагачення – від типу механізму рудоконцентрування, тривалості його дії і термодинамічних параметрів міграції [10].

Отже, моделлю формування ендегенних родовищ рідкісних елементів є процес багатоетапного еволюційного рудоутворення, у якому відображається принцип найменших енергетичних витрат. Реалізується цей принцип у різноманітних генетичних умовах, однак завжди шляхом багатоетапної диференціації і концентрації. Тільки на площах, де найповніше виявилися процеси диференціації і сепарації рудної речовини, формуються промислові ендегенні родовища рідкісних елементів. Масштаби і ступінь концентрації залежать від тривалості й інтенсивності енергетичного впливу, пов'язаного з еволюцією значних блоків земної кори. Однонапрямленість еволюційного розвитку рудогенної системи забезпечує формування її підрозділів не тільки як рівнів диференціації рудної речовини, а й як чергового рівня концентрації [2]. У випадку надходження достатньої кількості енергії протягом усього часу сприятливого середовища формуються всі локальні рівні рудогенної системи. Прийняття моделі багаторівневого концентрування рудних елементів дає змогу підвищити достовірність оцінки перспективності родовищ, оскільки оцінюють не лише саме родовище, а й кожен рівень будови рудогенної системи.

1. Волкова Т.П., Стрекозов С.Н., Васильченко В.В., Багрий И.Д. Геохимические особенности Азовского редкометального месторождения // Геол. журн. 2001. № 4. С. 102–109.
2. Волкова Т.П. Геоинформационная технология прогнозирования рудоносных структур разного ранга // Геоинформатика. 2002. № 2. С. 71–78.
3. Гурский Д.С., Войновский А.С., Колосовская В.А. и др. Металлогеническая специализация магматических комплексов и эпохи рудообразования Украинского щита // Минерал. журн. 2000. Т. 22. № 2–3. С. 5–11.
4. Закруткин В.В., Кулиш Е.А. и др. Метаморфические комплексы восточной окраины и склона Украинского щита. К., 1990.
5. Каляев Г.И., Глевасский Е.Б., Димитров Г.Х. Палеотектоника и строение земной коры докембрийской железорудной провинции Украины. К., 1984.
6. Кременецкий А.А., Буренков Э.А., Головин А.А. Разномасштабные геохимические прогнозно-поисковые работы: принципы и технология // Разведка и охрана недр. 2002. № 5. С. 2–11.

7. *Летников Ф.А.* Синергетика геологических систем. Новосибирск, 1992.
8. *Мельников В.С., Возняк Д.К., Гречановская Е.Е.* и др. Азовское цирконий-редкоземельное месторождение: минералогические и генетические особенности // *Минерал. журн.* 2000. № 1. С. 42–61.
9. *Овчинников Л.Н.* Прогноз рудных месторождений. М., 1992.
10. *Питулько В.М.* Основы интерпретации поисковой геохимии. Л., 1990.
11. Редкие элементы Украинского щита // *Мицкевич Б.Ф., Беспалько Н.А., Егоров О.С.* и др. К., 1986.
12. *Стрекозов С.Н., Васильченко В.В., Гурский Д.С.* и др. Геологическое строение и характер оруденения Азовского месторождения // *Мін. ресурси України.* 1998. № 3. С. 6–9.
13. *Тарасенко В.С., Кривонос В.П., Жиленко Л.А.* Петрология и рудоносность габброидов Южно-Кальчикского массива (Восточное Приазовье) // *Геол. журн.* 1989. № 5. С. 78–88.
14. *Царовский И.Д., Кравченко Г.Л.* Эволюция минерального состава габброидов и сиенитов Южно-Кальчикского массива // *Геол. журн.* 1992. № 2. С. 16–26.

SYSTEM RESEARCH IN THE FORECASTING OF RARE-METAL MINERALIZATION

T. Volkova

*Donets'k National Technical University
Artema St. 58, UA – 83000 Donets'k, Ukraine
E-mail: geolog@pop.dgtu.donetsk.ua*

The multistage concentration for rare-metal elements has been determined for Azovs'ke deposit (Pryazovs'kyi block of the Ukrainian Shield). Intensity mineralization for rare-metal elements is correlated with quantitative of the differentiation stage in the Priazovian ore system. It is allow forecasting rare-metal mineralization on the early studies of the deposits search and prospecting.

Key words: rare-metal mineralization, Azovs'ke deposit, forecasting, system research.

Стаття надійшла до редколегії 20.12.2002

Прийнята до друку 24.10.2003